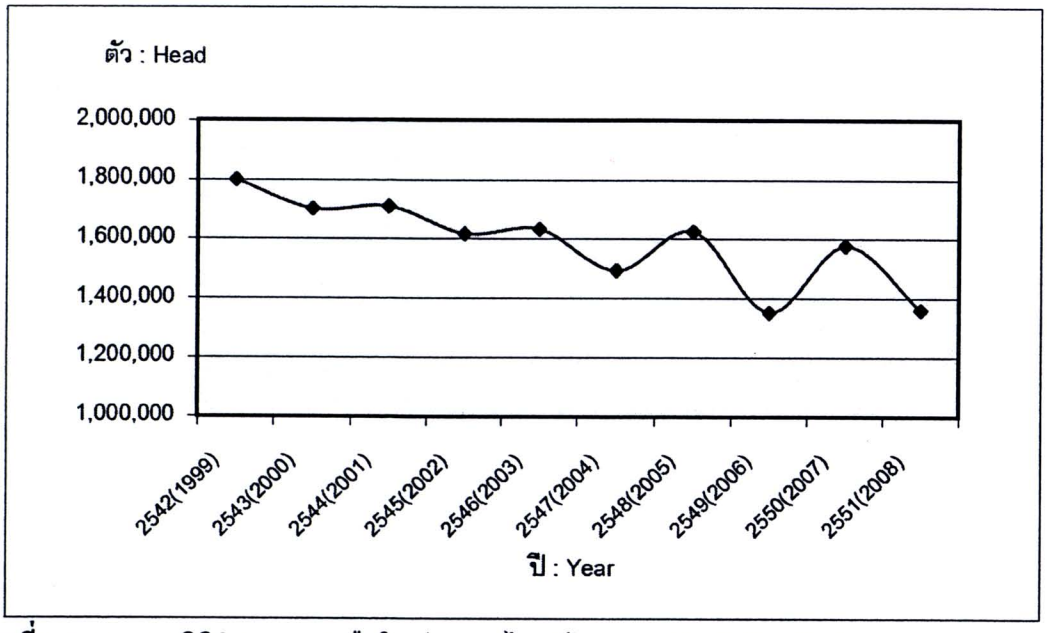
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทบาทและความสำคัญของกระบือในประเทศไทย

การเลี้ยงกระบือมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแรงงาน เช่น ไถนา คราด นวดข้าว ลากเกวียน เมื่อกระบือมีอายุมากจำเป็นต้องปลดออกจากงาน ก็จะนำมาฆ่าเพื่อบริโภคต่อไป กระบือเป็นเสมือนแหล่งเงินออมของเกษตรกร เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้เงินก็จะขายกระบือออกไป กระบือสามารถใช้ผลพลอยได้ที่เหลือใช้ทางการเกษตรเป็นอาหารได้อย่างดี รวมทั้งกระบือยังให้มูลเป็นปุ๋ยบำรุงดิน (จรัญ, 2526) ในการพัฒนาการเลี้ยงโค-กระบือ ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (2550-2554) โครงสร้างการผลิตภาคเกษตร สาขาปศุสัตว์ มีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญมากขึ้น รัฐบาลจึงได้วางเป้าหมายในการเลี้ยงโค-กระบือ เพื่อพัฒนาไปสู่ อุตสาหกรรมการแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ (กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) โดยกระบือ (*Bubalus bubalis*) เป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องอยู่ใน order Artiodactyla เลี้ยงลูกด้วยนม มีกีบคู่ และอยู่ใน Sub Order ruminantia คำว่า ruminant มาจากภาษาละติน ruminare แปลว่านำมาเคี้ยวเอื้องใหม่ (chew over again) เราเรียกสัตว์พวกนี้ว่า สัตว์เคี้ยวเอื้อง (กังวาน, 2531) โดยกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีลักษณะพิเศษสามารถจุได้ 20-40 แกลอน ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวสัตว์เอง โดยมีกระเพาะทั้งหมดแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ กระเพาะหมัก หรือ ผ้าขี้ริ้ว (rumen) รังผึ้ง (reticulum) สามสิบกลีบ (omasum) และกระเพาะจริง (abomasum) สามส่วนแรกเป็น proventicula เกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของหลอดอาหาร (esophagus) ส่วนของรังผึ้ง และกระเพาะหมักเชื่อมกันด้วยผนัง ruminoreticula fold หรือ reticulo-rumen fold โดยเฉพาะในกระเพาะหมักมีประชากรจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก มีหน้าที่ในการย่อยหมักอาหารที่สัตว์กินเข้าไป (เมธา, 2533)

2.1.1 ประชากรกระบือในประเทศไทย

จากข้อมูลของ กรมปศุสัตว์ (2552) พบว่าสถิติประชากรกระบือในประเทศไทยจากปี 2542 จนถึงปี 255ĺ มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 2.1) โดยในปี 2542 มีประชากรกระบือทั่วประเทศจำนวน 1,799,606 ตัวซึ่งเมื่อเทียบกับปี 2551 แล้วพบว่ามีจำนวนประชากรกระบือเหลือเพียง 1,359,807 ตัว หากจะพิจารณาเป็นรายภาคแล้ว จะเห็นว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีประชากรกระบือมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 75 รองลงมาคือภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ซึ่งมีประชากรกระบือร้อยละ15, 8 และ 2 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงสถิติจำนวนกระบือในประเทศไทย ปี 2542-2551 (1999-2008)
ที่มา : กรมปศุสัตว์ (2552)

2.1.2 การผลิตกระบือในประเทศไทย

การเลี้ยงกระบือในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงไว้ใช้แรงงานในไร่นา ซึ่งจากสถิติจะพบว่าประชากรกระบือร้อยละ 75 จะมีการเลี้ยงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นการเลี้ยงไว้ใช้ตามครัวเรือน เมื่อกระบืออายุมากขึ้นก็จะนำไปซื้อขาย หรือแลกเปลี่ยนตามตลาดนัดโค-กระบือ ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วไปในแทบทุกจังหวัด หรือไม่ก็จะส่งเข้าโรงฆ่าสัตว์เพื่อแปรรูปเป็นเนื้อสัตว์เพื่อการบริโภค แต่ปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องจักรเข้ามาแทนที่การใช้แรงงานกระบือ จึงพบว่าประชากรกระบือมีแนวโน้มลดลง แต่อย่างไรก็ตาม กระบือก็ยังมีความสำคัญต่อเกษตรกรรายย่อย เนื่องจากเป็นอาชีพที่มีการถ่ายทอดมาตั้งแต่บรรพบุรุษ ดังนั้นแนวทางการพัฒนาการเลี้ยงกระบือเพื่อผลิตเนื้อจึงมีการศึกษากันมากขึ้น กระบือสามารถดงทนต่อสภาพอาหารที่มีไนโตรเจนสูงและใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้ดีกว่าโคดังนั้นการศึกษาถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารของกระบือได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้นจากกลุ่มนักวิจัยทั่วโลก โดยเฉพาะประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารในกระเพาะหมักซึ่งเป็นด่านสำคัญในการนำใช้ประโยชน์จากอาหารที่ตกเข้าสู่กระเพาะหมักโดยการทำงานของจุลินทรีย์ (เมธา, 2533)

ตารางที่ 2.1 แสดงสถิติจำนวนประชากรกระบือในประเทศไทยปี 2542-2551 (1999-2008) แยกเป็นรายภาค

ปี พ.ศ.	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคใต้	รวมทั่วประเทศ
2542	97,879	1,503,176	151,134	47,417	1,799,606
2543	98,968	1,406,442	151,829	44,984	1,702,223
2544	104,415	1,413,697	149,856	42,127	1,710,095
2545	102,263	1,317,540	163,953	33,602	1,617,358
2546	114,562	1,316,530	168,526	33,088	1,632,706
2547	97,573	1,215,531	153,211	27,923	1,494,238
2548	130,609	1,241,766	220,610	31,934	1,624,919
2549	100,818	1,046,678	171,742	32,613	1,351,851
2550	129,866	1,175,826	225,970	46,136	1,577,798
2551	112,133	1,010,913	205,815	30,946	1,359,807

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (2552)

2.2 นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีกระเพาะแบ่งเป็น 4 ส่วนประกอบด้วย รูเมน เรติคูลั่ม โอมาซั่ม และอะโบมาซั่ม กระเพาะรูเมนถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ซึ่งมีความแตกต่างจากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนอื่น ๆ เช่น สามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้ ซึ่งถูกควบคุมโดยกระบวนการ homeothermic metabolism โดยตัวสัตว์เอง กระบวนการหมักที่เกิดขึ้นได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acids; VFAs) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) เป็นต้น ภายในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.0-7.0 และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 39-40 องศาเซลเซียส (Van Soest, 1994) จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนส่วนใหญ่เป็นพวก obligate anaerobes คือ พวกที่ไม่สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน และพวก facultative anaerobes ซึ่งอยู่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่บ้าง แต่ถ้ามีระดับของออกซิเจนมากเกินไปอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์พวกนี้ได้ (เมธา, 2533) จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนมีมากมายหลายชนิด โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ต้องมีชีวิตอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน และมีการสร้างผลผลิตสุดท้ายชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งพบในกระเพาะรูเมนเท่านั้น และต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 1 ล้านเซลล์ต่อกรัมของ rumen contents จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา โดย

แบคทีเรียมีจำนวนประชากรประมาณ 10^9-10^{12} เซลล์ต่อมิลลิลิตร โปรโตซัวมีจำนวนประชากรประมาณ 10^5-10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเชื้อรามีจำนวนประชากรประมาณ 10^2-10^3 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Hungate, 1966)

2.2.1 แบคทีเรียในกระเพาะรูเมน

แบคทีเรียเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากที่สุดในกระเพาะรูเมน และพบว่ามีมากกว่า 200 ชนิด ทั้งแกรมบวก (gram positive) และแกรมลบ (gram negative) ทั้งยังมีรูปร่างต่าง ๆ เช่น แท่ง (rods) กลม (cocci) เกรียว (helical) เส้น (filament) แขนง (branching filament) เป็นต้น จำนวนของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนจะมีการกระจายตัวอยู่หลายรูปแบบภายในกระเพาะรูเมน (เมธา, 2533; ฉลอง, 2541)

2.2.1.1 แบคทีเรียที่ลอยตัวโดยอิสระภายในของเหลวรูเมน มีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียทั้งหมด มีการแบ่งตัวสูงเพราะในกระเพาะรูเมนจะมีการไหลออกของของเหลวในระยะ liquid phase เพราะฉะนั้นอัตราการแบ่งตัวของจุลินทรีย์เหล่านี้ต้องสูงกว่า rumen fluid dilution rate

2.2.1.2 แบคทีเรียที่เกาะติดกับอนุภาคของอาหารมีประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียทั้งหมด โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ย่อยสลายอาหารหยาบ การเข้าเกาะติดของจุลินทรีย์บนผิวของอนุภาคอาหารนั้นเป็นลักษณะที่พิเศษมาก

2.2.1.3 แบคทีเรียที่ยึดเกาะกับผนังของกระเพาะรูเมน เป็นพวก facultative anaerobe พบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่สำคัญหลายประการในกระเพาะรูเมน กล่าวคือ

- สามารถใช้โปรตีนจากเซลล์ผนังรูเมนที่ตายแล้ว โดยอาศัยกระบวนการ deamination
- สามารถผลิตน้ำย่อยพวก protease ในรูเมนได้มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์
- สามารถผลิตน้ำย่อย urease ซึ่งจะไฮโดรไลซ์ยูเรียให้ได้แอมโมเนีย และอาจมีส่วนช่วยในการขนถ่ายยูเรียผ่านผนังรูเมนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
- จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจมีส่วนป้องกันพวก obligate anaerobes จากการทำลายของออกซิเจน
- จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจใช้ออกซิเจนที่ซึมผ่านผนังรูเมนในการผลิตพลังงาน โดยผ่านกระบวนการ oxidative phosphorylation

2.2.1.4 แบคทีเรียที่ยึดเกาะอยู่กับโปรโตซัว โดยเฉพาะพวก methanogens นอกจากนี้แบคทีเรียในกระเพาะรูเมนยังสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มตามการใช้ประโยชน์จากสารตั้งต้น หรือการผลิตผลผลิตสุดท้าย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการจำแนกแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนตามการใช้ประโยชน์จากสารตั้งต้น

ชนิดแบคทีเรีย	สายพันธุ์	สารตั้งต้น
Cellulolytic bacteria	*Bacteriodes succinogens*	เซลยูโลส
	Ruminococcus flavefacien	
	Ruminococcus albus	
Hemicellulose digesting bacteria	*Butyrivibrio fibrisolvens*	เฮไมเซลยูโลส
	Lachnosperia multiparens	
	Bacteriodes ruminicola	
Amylolytic bacteria	*Bacteriodes amylophilus*	แป้ง
	Succinomonas amylophilus	
	Butyrivibrio fibrisolvens	
	Selenomonas ruminantium	
	Bacteriodes ruminicola	
	Streptococcus bovis	
Bacteria utilizing sugar	*Veillonella gazogenes*	กรดแลกติก กรดซัคซินิค
	V. alacalescens	กรดมาลิก กรดฟูมาริก
	Propionic bacterium sp.	กรดออกซาลิก
	Selenomonas ruminantium	
Proteolytic bacteria	*Bacteriodes amylophilus*	โปรตีน
	Clostridium sporogens	
	Bacillus lichiniformis	
Ammonia producing bacteria	*Bacteriodes ruminicola*	กรดอะมิโน NPN
	Selenomonas ruminantium	
	Peptostreptococcus elsdenii	
	Butyrivibrio sp.	
Bacteria producing methane	*Methanobacterium formicicum*	คาร์บอนและไฮโดรเจน
	M. ruminantium	
Lipolytic bacteria	*Anaerovibrio lipolytica*	ไขมัน
Hydrogenating bacteria	*Butyrivibrio fibrisolvens*	กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว
	Ruminococcus albus	
Vitamin-synthesizing organisms		

ที่มา: ฉลอง (2541)

2.2.2 เชื้อราในกระเพาะรูเมน

เชื้อราที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูมนเป็นกลุ่มที่อยู่ได้ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic fungi) ความสำคัญของเชื้อราเหล่านี้คือ จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานจากอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไป โดยเปลี่ยนเอา chitin ซึ่งปกติย่อยไม่ได้ให้มาเป็นผนังเซลล์ของเชื้อรา และสามารถเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (ฉลอง, 2541) วงจรชีวิตของเชื้อรากลุ่มนี้ประกอบด้วย

2.2.2.1 Motile stage (zoospore) เป็นระยะที่เชื้อราสามารถเคลื่อนไหวได้โดยใช้ flagella

2.2.2.2 Vegetative stage (sporangium) เป็นระยะที่การยึดเกาะของไรซอยด์ (rhizoids) กับเศษชิ้นส่วนของพืช ซึ่งไรซอยด์จะแทงผ่านผนังเซลล์ (cell wall) ของพืชเข้าไปเพื่อทำให้เกิดการหมักของคาร์โบไฮเดรตและทำให้ sporangia มีการพัฒนาจนกระทั่งเข้าสู่ระยะ maturity ก็จะมีการปลดปล่อยซูโอสปอร์ออกมาและมีวงจรชีวิตเช่นเดิม (Orpin, 1975; Joblin, 1981; Orpin, 1989)

เชื้อราจะเข้าย่อยสลายส่วนของเยื่อใยเป็นกลุ่มแรก โดยย่อยจากส่วนด้านในก่อน ซึ่งเชื้อราจะช่วยลดการยึดเกาะกันแน่นของอนุภาคอาหาร (เมธา, 2533) ลดความตึงของเส้นใย ทำให้เกิดการแตกของเส้นใยได้ง่ายเมื่อเกิดการเคี้ยวเอื้อง จึงช่วยให้แบคทีเรียเข้าย่อยสลายได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เชื้อราอาจจะทำลาย hemicellulose-lignin complex ละลายส่วนของเพคตินและลิกนินออกมา แต่ไม่สามารถย่อยทั้งเพคตินและลิกนินได้ ดังนั้นเชื้อราจึงเป็นจุลินทรีย์ที่ความสำคัญอย่างยิ่งในการเข้าย่อยอาหารเยื่อใย การที่ในกระเพาะรูเมนมีเชื้อรามากจะช่วยลดระยะเวลา lag-phase ของการเข้าย่อยอาหารเยื่อใย (ฉลอง, 2541; Preston and Leng, 1987) โดยเชื้อราที่พบในทางเดินอาหารของสัตว์กินพืชสามารถแยกได้ดังในตารางที่ 2.3

2.2.3 โปรโตซัวในกระเพาะรูเมน

โปรโตซัวเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย โปรโตซัวที่พบในรูเมนส่วนใหญ่เป็นชนิด ciliate protozoa แต่ในช่วงที่เป็นลูกสัตว์จะมี flagellate protozoa มากกว่า (ฉลอง, 2541) จำนวนประชากรของโปรโตซัวมีมากกว่า 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร การจัดจำพวกโปรโตซัวมักนิยมถือตามลักษณะของเซลล์ (cell morphology) ซึ่ง ciliate protozoa สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ holotrichs และ entodiniomorphs (Coleman, 1975) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

กลุ่ม holotrichs มีรูปร่างคล้ายพารามีเซียม มีขนล้อมรอบและมีขนาดใหญ่ อยู่อิสระไม่เกาะติดกัน เคลื่อนไหวได้เร็ว สามารถทนอยู่ในสภาพมีออกซิเจนได้ดี มีความสามารถในการใช้น้ำตาลเป็นแหล่งของพลังงาน

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดและลักษณะของเชื้อราที่พบเฉพาะของสัตว์กินพืชชนิดต่างๆ

จีนัสและลักษณะของเชื้อรา	สายพันธุ์ของเชื้อรา	ชนิดของสัตว์
Caecomyces:		
Monocentric or polycentric	*Caecomyces communis*	แกะ
Uniflagellate		
Zoospores spherical	*Caecomyces equi*	ม้า
Holdfasts		
Piromyces:	*Piromyces communis*	แกะ
Monocentric, uniflagellate	*P. mae*	ม้า
Zoospores, filamentous	*P. dumbonica*	ช้าง
Rhizomycelium	*P. rhiziflata*	saharan ass
	P. minutus	กวาง
	P. spiralis	แพะ
Neocallimastix:		
Monocentric,	*Neocallimastixfrontalis*	แกะ
Polycentric zoospores,	*N. patriciarum*	แกะ
Extensive filamentous	*N. hurleyensis*	แกะ
Rhizomycelium	*N. variablis*	โคนม
Anaeromyces:		
Polycentric, uniflagellate	*Anaeromyces elegans*	โคนม
Zoospores, filamentous	*Anaeromyces mucronatans*	แกะ
Rhizomycelium		
Orpnomyces:		
Polycentric, Plyflagellate	*Opinomyces joyonii*	แกะ
Zoospores, filamentous		
Rhizomycelium	*Opinomyces intercalaris*	โค

ที่มา: ดัดแปลงจาก Theodorou et al. (1991)

ในขณะที่กลุ่ม entodiniomorphs มีรูปร่างเป็นรูปไข่ มีซิเลียเป็นแผงบริเวณ anterior เพื่อใช้กินอาหารและเคลื่อนไหว มีความสามารถในการใช้แป้ง (starch) เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญ โดยเฉพาะจีนัส Epidinium และ Ophryoscolex แต่บางตัวก็สามารถใช้เซลยูโลส และเฮไม-

เซลยูโลสเป็นแหล่งของพลังงานได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ายึดเกาะกับสารตั้งต้นนั้นๆ ซึ่งอาจเป็นคลอโรพลาสต์ (chloroplast) หรือส่วนของเยื่อใย (fibrous particles) (Van Soest, 1994)

จุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัวจะมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันตามอายุของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ตารางที่ 2.4 แสดงกลุ่มของโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

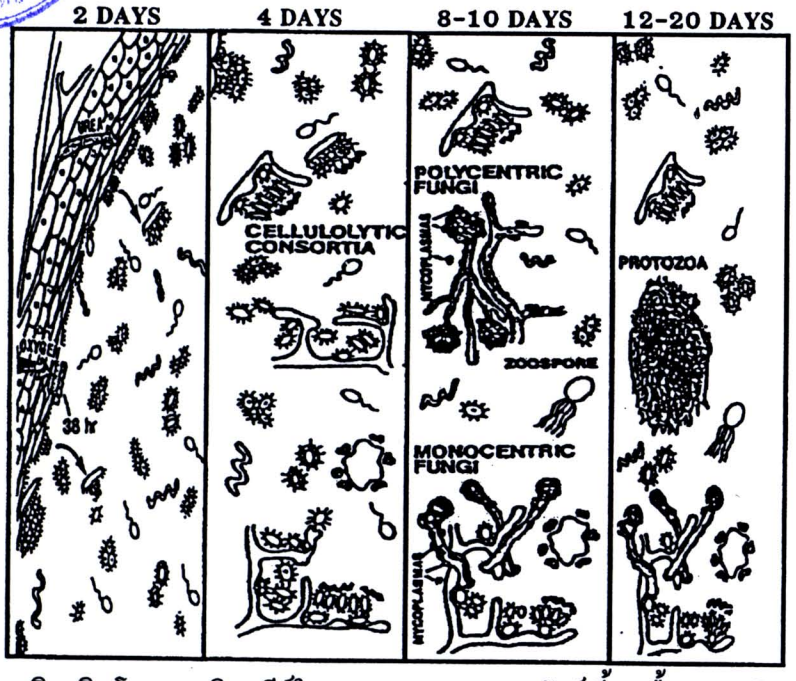
จีนัส	สายพันธุ์	Holotrich/entodiniomorp	Type group	Cilia
Isotricha	*I. Intestinalis*	Holotrich	A and B	all over
	I. prostoma	Holotrich	A and B	all over
Dasytricha	*D. ruminantium*	Holotrich	A and B	all over
Diplodinium	*D. dentatum*	Entodiniomorp	A and B	2 bands
Entodinium	*E. caudatum*	Entodiniomorp	A and B	1 band
Epidinium	*Ep. Caudatum*	Entodiniomorp	B	2 bands
Eudiplodinium	*Eu. Magii*	Entodiniomorp	B	2 bands
Ophryoscolex	*O. purkynjei*	Entodiniomorp	A	2 bands
Ostracodinium	*O. Dentatum*	Entodiniomorp	B	2 bands
Polyplastron	*P. multivesiculatum*	Entodiniomorp	A	2 bands

ที่มา: Coleman (1975)

2.2.4 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนสังเคราะห์จากกรดอะมิโน และเปปไทด์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนหรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระ อย่างไรก็ตามพบว่าแอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายในกระเพาะรูเมนเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นกัน (Aharoni et al., 1991) Al-Rabbat et al. (1971) รายงานว่า 61 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์โปรตีนมาจากแอมโมเนีย และ 39 เปอร์เซ็นต์มาจากกรดอะมิโนและเปปไทด์ อย่างไรก็ตาม Maeng et al. (1976) รายงานว่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนียและกรดอะมิโนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือ 75 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนียไนโตรเจน และ 25 เปอร์เซ็นต์กรดอะมิโน นอกจากนี้พลังงาน ATP ที่สัตว์ได้รับ ซึ่งได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 1 / ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 249500
เลขเรียกหนังสือ



ภาพที่ 2.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องแรกเกิดอายุ 2-20 วัน
ที่มา : Cheng et al. (1991)

จุลินทรีย์โปรตีนเมื่อถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริงและลำไส้เล็ก จะมีผลต่อองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถในการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนในเซลล์ ฉลอง (2541) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนในจุลินทรีย์เท่ากับ 36-49 เปอร์เซ็นต์โปรตีน ซึ่ง 85 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดจะอยู่ในรูปของโปรตีนแท้ โปรตีนในตัวจุลินทรีย์เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง โดยโปรโตซัวมีการย่อยได้ดีกว่าแบคทีเรีย แม้ว่าค่า biological value ของโปรตีนของโปรโตซัวและแบคทีเรียจะไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อคิดเป็นค่า net protein utilization พบว่าโปรโตซัวมีค่าสูงกว่าแบคทีเรีย

2.2.5 การเปรียบเทียบประชากรจุลินทรีย์ในกระบือและโค

กระบือถือเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารจำพวกเยื่อใยได้สูง โดยเฉพาะผลพลอยได้ทางการเกษตรจำพวกฟางข้าว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโคในช่วงฤดูแล้งที่ขาดแคลนอาหาร จะเห็นได้ชัดเจนว่ากระบือยังสามารถรักษาสภาพร่างกายไม่ให้ผอมได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระเพาะหมักของกระบือมีประชากรของจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียมากกว่าโค โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียพวกที่ย่อยสลายเซลยูโลส และอะไมโลส (ตารางที่ 2.5) ซึ่งเป็น

จุลินทรีย์กลุ่มหลักที่ช่วยในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ จึงเป็นเหตุผลให้กระบือสามารถรักษาสภาพร่างกายไม่ให้ผอมไว้ได้

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบประชากรจุลินทรีย์ในกระบือและโค

ประชากรจุลินทรีย์	โค	กระบือ	แตกต่าง
แบคทีเรีย, x10^8 cells/ml, total direct count	1.36	1.61	-0.25
โปรโตซัว, x10^8 cells/ml, total direct count	3.82	2.15	1.67
Total viable count (high fibrous diet), x10^8 cells/ml			
แบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมด	13.2	16.2	-3.0
แบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลส	2.85	6.86	-4.28
แบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีน	0.41	0.54	-0.13
แบคทีเรียที่ย่อยสลาย	8.63	11.05	-2.42

ที่มา : Wanapat et al. (2000a)

2.3 การย่อยสลายและการใช้ประโยชน์อาหารคาร์โบไฮเดรตและอาหารโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความสามารถพิเศษในการใช้อาหารหยาบ (roughage) คือ ประกอบด้วยต้นและใบของพืชเป็นส่วนใหญ่ มีเยื่อใยสูงและมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นน้ำตาลหลายโมเลกุล โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) จับกันด้วยพันธะแบบเบต้า (β) เช่น ในกรณีของเซลยูโลส (cellulose) เฮไมเซลยูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectin) (เมธา, 2533) ฟรุคโตแซน (fructosan) และ แป้ง (starch) มีส่วนน้อยที่อยู่ในรูปไดแซคคาไรด์(disaccharide)หรือโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ของพืชจะเป็นคาร์โบไฮเดรตประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด

นอกจากนั้นแล้วสารประกอบไนโตรเจนในอาหารเป็นแหล่งของไนโตรเจนสำหรับทั้งจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและตัวสัตว์ ลักษณะพื้นฐานของระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องคือการย่อยจากกระบวนการหมัก ของจุลินทรีย์ พบอยู่ในกระเพาะส่วนหน้า คือ กระเพาะหมัก รังผึ้ง และการย่อย์โดยเอ็นไซม์ ที่หลั่งออกมาจากต่อมต่างๆจากกระเพาะจริง และลำไส้เล็ก (ฉลอง, 2541) ดังนั้นจึงมีกระบวนการย่อยที่ซับซ้อน โดยมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่าง อาหาร ประชากรจุลินทรีย์และตัวสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Forbes and France, 1993)

2.3.1 การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คาร์โบไฮเดรตแบ่งตามลักษณะโครงสร้างออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate) ได้แก่ น้ำตาล ฟรุคโตแซน (fructosan) แป้ง (starch) เป็นต้น สามารถถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วเพื่อเป็นแหล่งพลังงานโดย จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในกระเพาะหมัก (Czerkawski, 1986)

2. คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) ได้แก่ เซลยูโลส (cellulose) เฮไมเซลยูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectin) (ฉลอง, 2541)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 คาร์โบไฮเดรตในรูปที่ซับซ้อน จะถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ที่จุลินทรีย์ปล่อยออกมา (extracellular microbial enzyme) ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กล่าวคือ

- เซลยูโลสจะถูกย่อยด้วย β-1,4 glycosidase ให้เป็น cellobiose แล้ว cellobiose จะถูกเปลี่ยนเป็น กลูโคส หรือ glucose-1-phosphate โดยเอ็นไซม์ phosphorylase

- แป้งและเดกซ์ตริน (dextrin) จะถูกย่อยโดย amylase ได้เป็น maltose แล้วถูกย่อยต่อไปด้วย maltase และ maltose phosphorylase และ/หรือ α-1,6-glucosidase ได้เป็นกลูโคส หรือ glucose-1-phosphate

- คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ fructans (น้ำตาลฟรุคโตสที่จับกันเป็นสายยาว) จะถูกย่อยให้เป็นฟรุคโตส (fructose) นอกจากนี้ ฟรุคโตสยังอาจเกิดจากการย่อยซูโครส (sucrose) ก็ได้

- เฮไมเซลยูโลสจะถูกย่อยด้วยเอ็นไซม์ที่ทำลาย β-1,4 –linkage ได้เป็น xylose (น้ำตาล pentose) และ uronic acid จะเปลี่ยนต่อไปเป็น xylose ได้

- เพคติน (pectin) จะถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ polygalacturonidase ได้เป็น galacturonic acid เป็น uronic acid ตัวหนึ่ง สามารถที่จะเปลี่ยนเป็น xylose ได้ นอกจากนี้ xylose ยังอาจเกิดจาก xylan มีมากในหญ้า

ขั้นตอนที่ 2 น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้น จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ ได้เป็น pyruvic acid เช่นเดียวกับเมทธาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในตัวสัตว์ตามปกติ ทำให้ไม่ค่อยพบน้ำตาลในกระเพาะหมัก

ขั้นตอนที่ 3 ไพรูเวท (pyruvate) ที่เกิดขึ้น จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ได้เป็น CO_2 CH_4 และกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid) ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิออนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริก (butyric acid) ดังภาพที่ 2.3 กรด

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ไขมันชนิดอื่นๆ เช่น กรด isobutyric acid mathyric acid และ valeric acid ก็อาจเกิดขึ้นด้วยแต่ในปริมาณน้อย โดยการ deamination ของกรดอะมิโนในกระเพาะหมัก (บุญล้อม, 2541)

การผลิตอะซิเตท และฟอร์เมท (acetate และ formate) เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$\text{Pyruvate} + \text{CoAsh} + H^+ \longrightarrow \text{acetyl CoA} + CO_2 + H_2$$

หรือ $$\text{Pyruvate} + P \longrightarrow \text{acetyl phosphate} + CO_2 + H_2$$

$$\text{Pyruvate} + \text{CoAsh} \longrightarrow \text{acetyl CoA} + HCOO^-$$

$$\text{Pyruvate} + P \longrightarrow \text{acetyl phosphate} + HCOO^-$$

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ในทั้งสองระบบ จำเป็นต้องมี thiamine pyrophosphate (TPP) Coenzyme-A และ phosphate ความแตกต่างของสองระบบนี้คือ การที่จุลินทรีย์ต่างชนิดกันนำอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นไปใช้ต่างกัน ส่วนขั้นตอนของการขนส่งอิเลคตรอน ยังไม่ทราบแน่นอน แต่ตัวนำขั้นต้นอาจจะเป็น Fe-protein ferredoxin เป็นตัวให้อิเลคตรอน เพื่อผลิต H

$$H^+ + 2\text{Fd red} + \text{NAD (P)}^+ \underset{\text{Fd-NAD (P) reductase}}{\overset{\text{transhydroginase}}{\rightleftharpoons}} 2\text{Fd ox} + \text{NAD (P) H}$$

จากสมการข้างบนนั้น อาจจะเป็นทางหนึ่งที่มีการผลิต H_2 ในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็น pyruvate กรดฟอร์เมทจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการทำงานของน้ำย่อย ferredoxin-dependent formic dehydrogenase ทำให้เกิด H_2 และ CO_2

การผลิตโพรพิออเนท (propionate) การเปลี่ยน lactate หรือ pyruvate ให้เป็น propionate นั้นเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ

1. กระบวนการที่ 1 ผ่านการผลิต oxaloacetate และ succinate
2. กระบวนการที่ 2 ผ่านการผลิต acrylate

จากการศึกษาโดยใช้ isotope-labelling พบว่าทั้ง 2 กระบวนการเกิดขึ้นในกระเพาะหมัก กระบวนการหลักคือ กระบวนการที่ 1. แต่ถ้าขาดซัลเฟอร์จะทำให้ประชากรจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป อาจทำให้กระบวนการที่ 2 มีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่ได้รับอาหารข้นพลังงานสูง น้ำย่อยที่มีความสำคัญมากคือ methylmalonyl CoA transcarboxylase ทำหน้าที่ย้าย COOH ของ methylmalonyl CoA ไปยัง Oxaloacetate นอกจากนั้นแล้วกระบวนการสังเคราะห์ กรดโพรพิออนิกยังต้องอาศัยไวตามินบี 12 เป็น coenzyme

การผลิตบิวทีเรท (butyrate) บิวทีเรทอาจจะถูกผลิตในกระเพาะหมักจากอะซิเตท หรือจากสารประกอบที่สามารถผลิต acetyl-CoA เช่น pyruvate หรือ glutamate แต่กระบวนการที่ผลิตบิว

ทีเรทจากอะซิเตทเกิดได้ 2 ทาง กระบวนการที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุดคือ การสังเคราะห์บิวทีเรทจากอะซิเตท ให้ ATP 1 mole โดย reversal of p-oxidation กระบวนการที่ 2 โดยผ่านการผลิต malonyl กระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้ ATP 2 moles ในการผลิตบิวเรท 1 mole จากอะซิเตท 2 mole

การผลิตร่วมระหว่างอะซิเตทและบิวทีเรท จากการผลิตบิวทีเรทจากอะซิเตทในจุลินทรีย์บางชนิด พบว่าได้ net ATP เพิ่มขึ้น 1 ตัว แต่ในจุลินทรีย์บางชนิดปรากฏว่ามีการสูญเสีย net ATP 1 ตัว การสังเคราะห์บิวทีเรทจากอะซิเตทเกิดขึ้นได้โดยผ่านการผลิต malonyl-CoA และการสังเคราะห์อะซิเตทจากบิวทีเรทโดยผ่านกระบวนการ oxidation การสังเคราะห์บิวทีเรทจากอะซิเตทอาจจะเป็นการช่วยในการ oxidize พวก cofactors ที่อยู่ในรูป reduced เพื่อทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้ จากจุดนี้สามารถแก้ปัญหาในการใช้อะซิเตท 2 mole เพื่อสังเคราะห์บิวทีเรท 1 mole เพราะทุกๆ 1 mole ของบิวทีเรทที่ได้จะสามารถ oxidize พวก co-facter ได้ 2 ตัว ถ้ากระบวนการนี้เกี่ยวโยงกับ glycolysis จะทำให้สามารถใช้ hexose ได้อีก 1 ตัว ทำให้เกิด net ATP เพิ่ม 1 ตัว ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Acetate} + \text{ATP} + 2\text{SHCoA} + 2\text{NADH}_2 \longrightarrow \text{butyrate} + \text{Pi} + \text{ADP} + \text{NAD}^+$$

$$\text{Hexose} + 2\text{NAD}^+ + 2\text{ADP} + 2\text{Pi} \longrightarrow \text{pyruvate} + 2\text{NADH}_2 + 2\text{ATP}$$

ถ้า mole ATP ของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การผลิตความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การผลิตกรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นมาก และการผลิตของเซลล์จุลินทรีย์ (Y_{ATP}) ลดลง ATP จะนำไปใช้เพื่อประโยชน์ต่างๆดังนี้ คือ

1. การผลิต acetic acid (C_2)

$$CH_3COCOOH + H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + H_2$$

2. การผลิต propionic acid (C_3)

$$CH_3COOH + H_2 \longrightarrow CH_3CH_2COOH + H_2O$$

3. การผลิต butyric acid (C_4)

$$2CH_3COOH + H_2 \longrightarrow CH_3CH_2\,CH_2COOH + 2H_2O$$

4. การผลิต carbondioxide (CO_2), methane (CH_4)

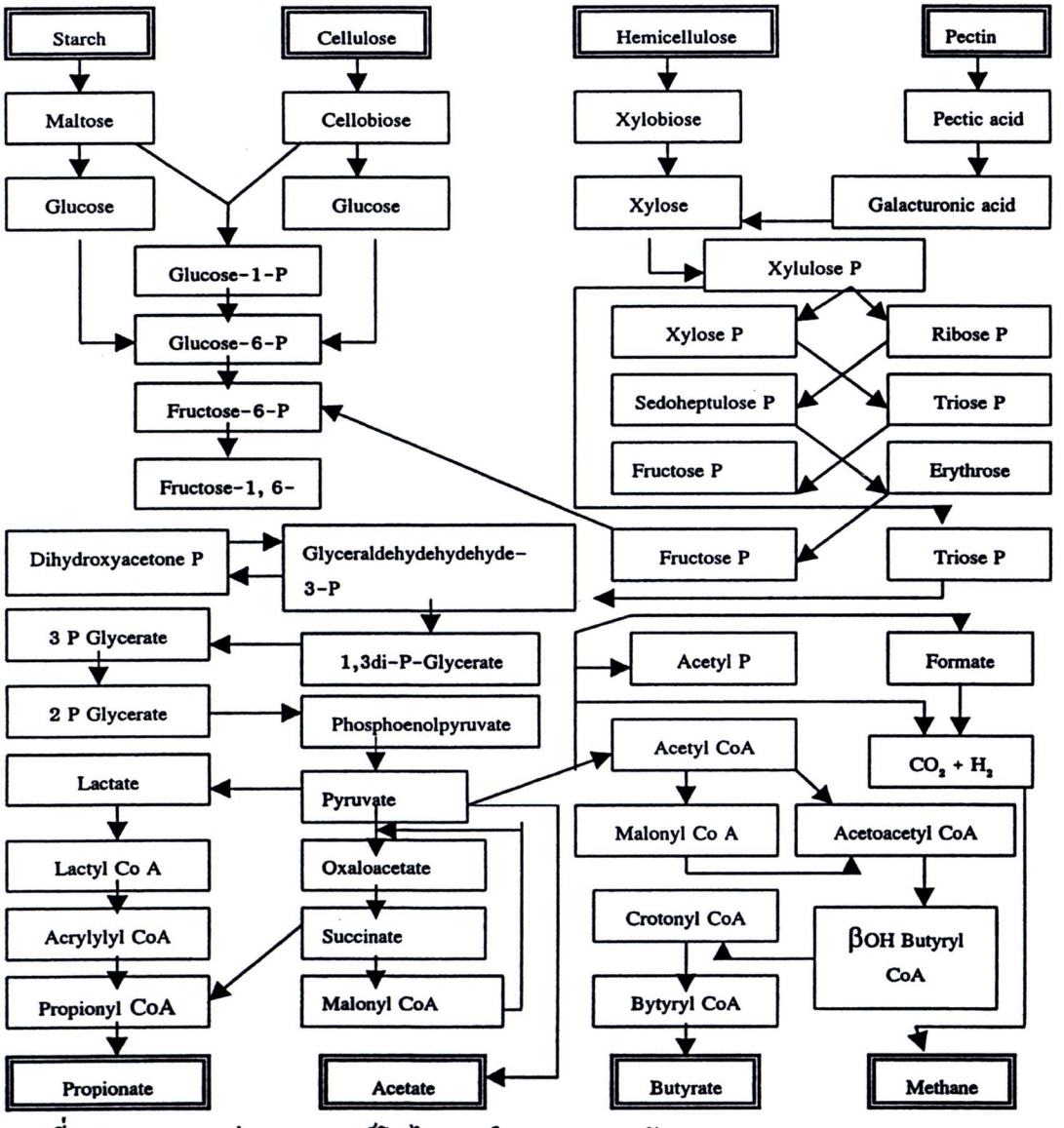
$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่า การผลิตอะซิเตทจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ส่วนการผลิตโพรพิออเนทไม่ทำให้เกิดก๊าซเลย เพราะฉะนั้นพลังงานที่สูญเสียไปบางส่วนจะอยู่ในรูป CO_2 CH_4 และ heat of fermentation ในช่วงของการหมัก ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนอยู่น้อยจะทำให้การผลิตก๊าซเมทเธนลดน้อยลง ถ้ามีการผลิตอะซิเตทมากจะทำให้โอกาส

ในการผลิตก๊าซเมทเธนมากตามไปด้วย ส่วนการผลิตบิวทีเรทจะอาศัยก๊าซไฮโดรเจน เพื่อไป reduce อะซิโตอะซิเตท (acetoacetate) จึงเป็นการช่วยจำกัดการผลิตก๊าซเมทเธน การผลิตโพรพิโอเนทนั้นจำเป็นต้องใช้ ก๊าซไฮโดรเจนเช่นกัน แต่จะเห็นว่าในกระบวนการนี้ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเลย

2.3.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต กรดไขมันระเหยได้ ความผันแปรของการผลิตกรดไขมันระเหยได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถในกระบวนการหมักของสัตว์แต่ละตัว ชนิดของสัตว์ (species) ความแตกต่างของอาหาร วิธีการวิเคราะห์ วิธีเก็บตัวอย่าง ระยะเวลาเก็บตัวอย่างหลังจากที่สัตว์กินอาหาร เป็นต้น การเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะหมัก (rumen fluid) โดยใช้ stomach tube อาจทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดลดลง และความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เนื่องจากมีการปนเปื้อนหรือถูกเจือจางโดยน้ำลาย (Bryant, 1964; Lane et al., 1968 อ้างถึงใน Church, 1979) ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ บางครั้งแสดงเป็นค่า mg% หรือ meq% แต่ในระยะหลังนิยมใช้ค่า โมล/มล. หรือ มิลลิโมล/100มล. ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 80-150 โมล/มล. ในแกะและโคมีการผลิตกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 4-5.5 และ 30-40 โมล/วัน ตามลำดับ Ogimoto et al. (1983) รายงานค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระบือเท่ากับ57 โมล/100 มล. Castillo (1981) และ Chanthai et al. (1987) รายงานตรงกันว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด ในกระบือต่ำกว่าโค

2.3.1.2 การดูดซึมของกรดไขมันระเหยได้ การดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ผ่านผนังกระเพาะหมัก ในลักษณะของการแพร่ (simple diffusion) การดูดซึมของกรดไขมันระเหยได้ขึ้นอยู่กับขนาดโครงสร้างของกรด โดยอัตราการดูดซึมของกรดจะมีค่าสูงเรียงตามลำดับดังนี้คือ กรดบิวทีริก > กรดโพรพิออนิก > กรดอะซิติก ในภาวะที่เป็นกรด (เมธา, 2533) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากรูปของกรดที่อยู่ในกระเพาะหมัก คือ dissociated เช่น CH_3COO^- และ nondissociated เช่น CH_3COOH states ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำจะมีความเข้มข้นของ H^+ สูง กรดไขมันระเหยได้ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป nondissociated form สามารถผ่านผนังกระเพาะหมักได้ดี โดย 2.5 เปอร์เซ็นต์ ของ กรดโพรพิออนิก จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ที่เซลล์ผนังกระเพาะหมัก และส่วนที่เหลือถูกส่งไปที่ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นกลูโคส ส่วนกรดบิวทีริกถูกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเป็น ketone และ beta-hydroxybutyrate ที่ผนังกระเพาะหมัก beta-hydroxybutyrate ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานของ cardiac และ skeletal muscle รวมทั้งใช้ในการสังเคราะห์ไขมันใน adipose และ mammary tissue



ภาพที่ 2.3 แสดงการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

ที่มา : เมธา (2533)

2.3.2 การย่อยอาหารโปรตีน

การจำแนกส่วนประกอบของอาหารโปรตีนในอาหารสัตว์ ตามลักษณะส่วนประกอบที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ โปรตีนแท้ เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจับกันเป็นสายยาวเรียกว่า เปปไทด์ หรืออยู่ในรูปนิวเคลียร์โปรตีน จะมีส่วนประกอบของฐานโครงสร้างของพิวรีน (purine) และไพริมิดีน (pyrimidine) ของอาหารที่เป็นเซลล์พืชโดยส่วนใหญ่และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ นั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น กรดอะมิโน เปปไทด์ เอไมด์

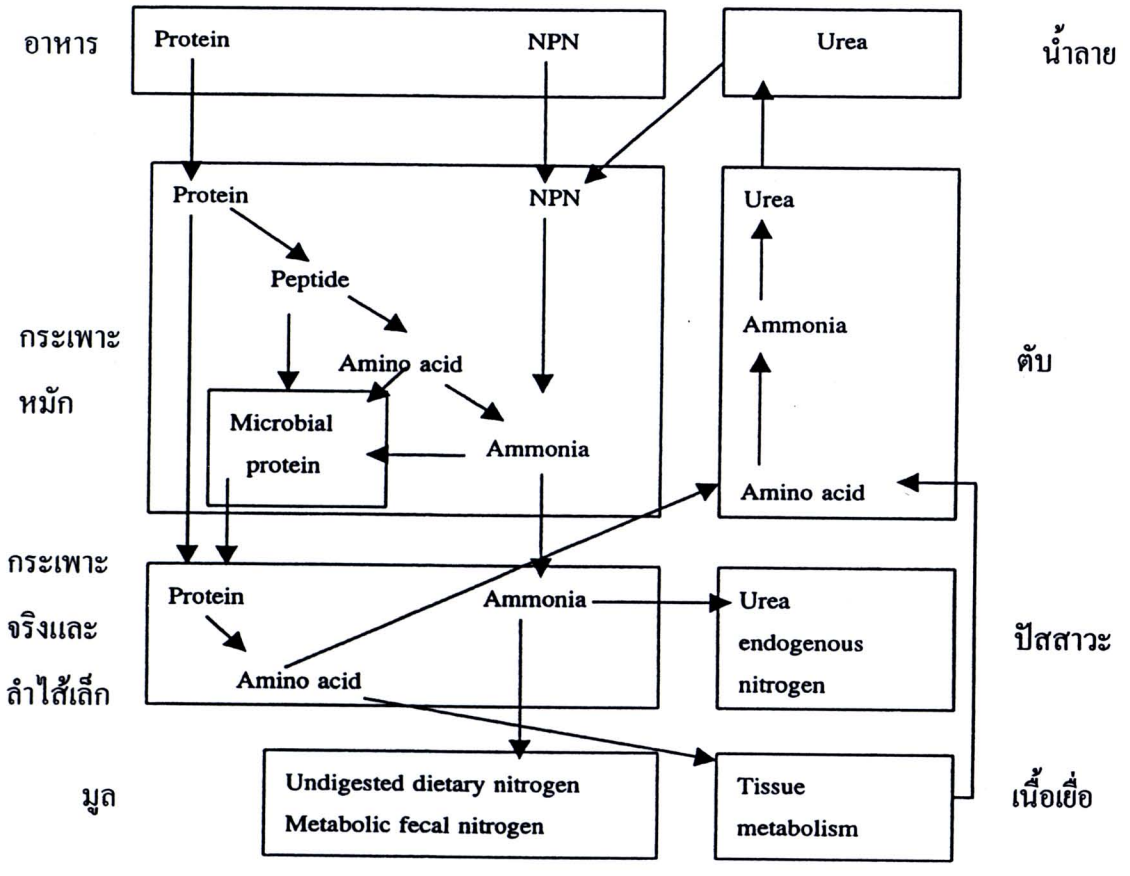
เอมีน เกลือแอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ ยูเรีย และไบยูเรท (Sniffen et al., 1992) ปริมาณของไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ในอาหารนั้นมีค่าตั้งแต่ 4-5 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ด (Asplund, 1994) จนถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ (Huber and Limin-Kung, 1980) ในอาหารหมักที่ไม่มีการตากแดด เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด ความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายได้ (solubility) (Orskov, 1992; Asplund, 1994) และถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ แบคทีเรียจะทำหน้าที่เข้าย่อยสลายโปรตีนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอาหาร (Siddons and Paradine, 1981)

แต่อย่างไรก็ตามความเป็นกรด-ด่าง ของสภาพกระเพาะหมัก อาจมีอิทธิพลมากกว่า (Wallace, 1983; Wallace and McPherson, 1987) โดย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมของการเข้าย่อยสลายโปรตีนนั้นอยู่ระหว่าง 6-7 โปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์ (Wallace et al., 1987) เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน ต่อจากนั้นจะมีการผลิตแอมโมเนีย และกรดอินทรีย์โดยกระบวนการ ดีแอม-มิเนชั่น (deamination) จากการทดลองพบว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ ถูกสังเคราะห์โดยการใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้กรดอะมิโนและ/หรือเปปไทด์โดยตรง (Wallace, 1979) โดยประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 เปอร์เซ็นต์ จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของกรดอะมิโน และอีก 71 เปอร์เซ็นต์ (Asplund, 1994) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนแต่ละชนิด (Wallace and McKian, 1989; Wallace et al.,1990) (ภาพที่ 2.4) การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักเป็นการเพิ่มการผลิต กรดไขมันโดยเฉพาะพวก branched-chain ของกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งจะมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและความเข้มข้นของ valeric acid และ Caproic acid (Chen and Russell, 1988)

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สมดุลโภชนะระหว่างโปรตีนและพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นเนื่องจากโปรตีนและพลังงานต่างก็มีผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ตลอดจนการดูดซึมและการนำไปสร้างผลผลิต ความต้องการโปรตีนและพลังงานนั้นแยกเป็น 2 ส่วนหลัก คือส่วนแรกเป็นความต้องการสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และอีกส่วนหนึ่งเป็นความต้องการสำหรับตัวสัตว์เอง (McCarthy et al., 1989)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

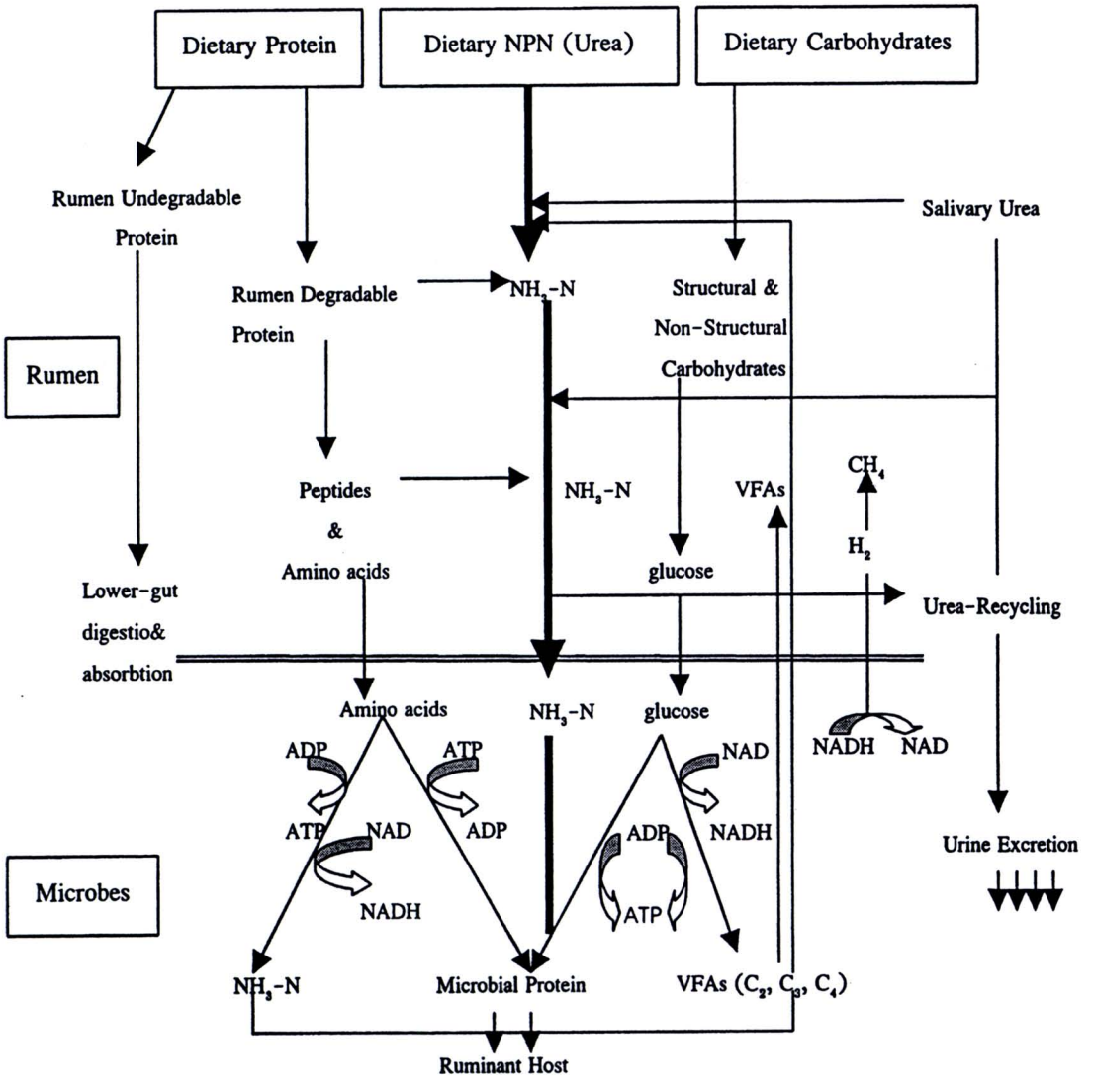


ภาพที่ 2.4 แสดงกระบวนการเมทธาโบลิซึมของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง
ที่มา : เมธา (2533)

ในการหมักคาร์โบไฮเดรตส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานสำหรับการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและอีกส่วนหนึ่งผลิต กรดไขมันระเหยได้ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานหลักของตัวสัตว์และจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นก็จะถูกย่อยที่ลำไส้เล็กเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์ การเหนี่ยวนำอัตราการย่อยของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในกระเพาะหมักน่าจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและปริมาณของการสังเคราะห์จุลินทรีย์ แต่หลักการนี้ยากในการทดสอบในงานทดลอง เพราะเป็นการยากในการคำนวณสูตรอาหารเพื่อที่จะควบคุมให้มีเฉพาะการหมักของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนโดยไม่มีความแปรปรวนเนื่องจากสิ่งอื่น ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่อหน่วยของคาร์โบไฮเดรตที่ถูกหมัก จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (Mansfield et al., 1994) การใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่ย่อยได้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับปริมาณของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ที่ได้รับ อาหารที่ขาดความสมดุลของ

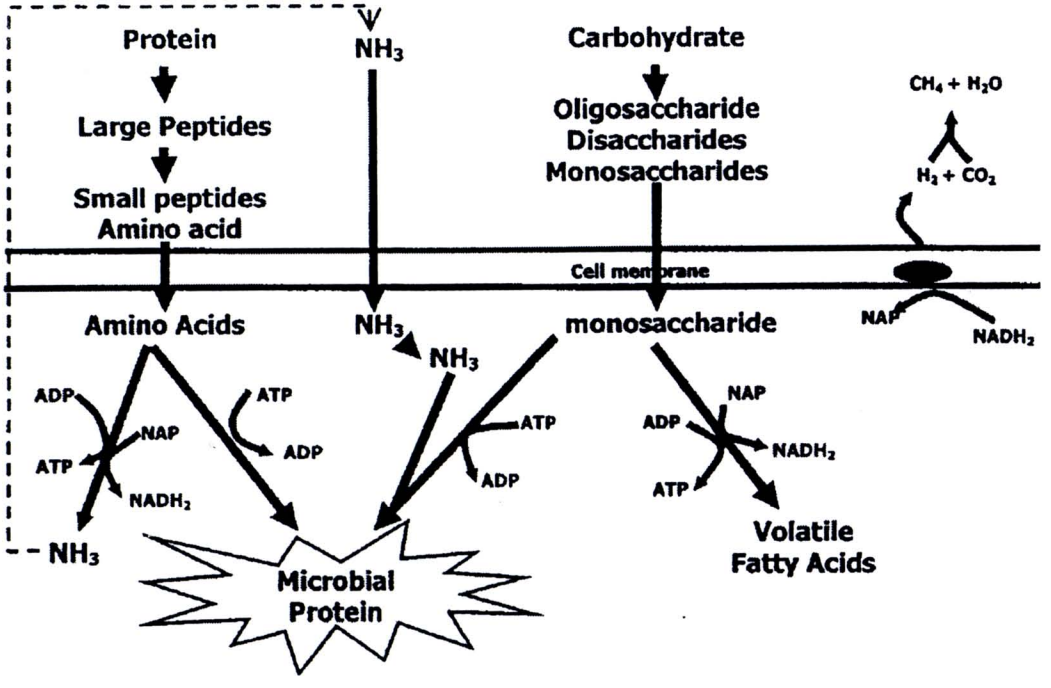
พลังงานและโปรตีนมีผลทำให้การผลิตน้ำนม การย่อยได้ของไนโตรเจน และไนโตรเจนในน้ำนมลดลง (Gordon and Forbes, 1970 อ้างถึงใน เมธา, 2533) โปรตีนเป็นแหล่งที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ จำเป็นต้องอาศัยพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้อง ในกรณีที่สัตว์ได้รับพลังงานไม่เพียงพอ โปรตีนจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Henning et al. 1993) (More and Tyrrel 1972 อ้างถึงใน เมธา, 2533) รายงานว่าการเพิ่มระดับของโปรตีนในอาหารที่ใช้ระดับพลังงานเท่ากัน (isocaloric) ช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของโปรตีนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานจะมีผลกระทบต่อปัจจัยหลักที่สำคัญ เช่น ความสามารถในการย่อยได้ ปริมาณการกินได้ รวมทั้งการสังเคราะห์จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักด้วย (Oldham, 1984) ความแปรปรวนของแหล่งคาร์โบไฮเดรต และความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร มีผลอย่างมากต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Casper et al., 1990) ในอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำจะเป็นตัวจำกัดปริมาณการกินได้ เพราะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจึงลดลง มีผลทำให้อัตราการย่อยสลายของอาหารลดลง แต่ถ้าระดับของโปรตีนเกินระดับที่เหมาะสมและทำให้ความสมดุลของพลังงานลดลงนั้น จะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง แต่ในสภาพที่มีโปรตีนเพียงพอ ตัวที่จำกัดการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน คือ พลังงาน ดังนั้นจึงต้องมีโภชนะทั้งสองอย่างเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์และต่อตัวสัตว์เอง Van Horn et al. (1969) พบว่าสัดส่วนระหว่างพลังงานต่อโปรตีน โดยพิจารณาในรูปของ total digestible nutrient : crude protein (TDN:CP) จะมีความน่าเชื่อถือในการนำมาพิจารณาเพื่อการประกอบสูตรอาหารตามความต้องการของสัตว์มากกว่าการพิจารณาเพียงโปรตีนอย่างเดียว เมื่อสัตว์กินอาหารโปรตีนและพลังงานเพิ่มขึ้น อัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น ทำให้ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น Van Soest (1982) พบว่าในอาหารที่มีโปรตีนต่ำ คือ อยู่ในช่วง 6-8 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ต่ำ และประสิทธิภาพการย่อยได้ในกระเพาะหมักลดลง เนื่องจากขาดแหล่งไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์ การสูญเสียไนโตรเจนทางมูล และความสมดุลไนโตรเจนเป็นลบ (negative balance) จะเพิ่มมากขึ้น ถ้ามีการเพิ่มอาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีการย่อยได้สูงในอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ

แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มีการย่อยสลายง่ายในโคนมระยะให้ผลผลิต อาจทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุดและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีนไหลผ่านสมดุล เมื่อมีการเพิ่มของการใช้แอมโมเนียในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์โปรตีน



ภาพที่ 2.5 การย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก
ที่มา : Wanapat (2000)

โดยปัจจัยที่มาจำกัดการใช้สารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ คือ แหล่งของพลังงานนั่นเอง (Huber and Kung, 1981) สอดคล้องกับรายงานของ Aldrich et al. (1993) กล่าวว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำลงเมื่ออาหารมีพลังงานสูง สามารถกล่าวได้ว่า มีการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่าย จะทำให้ได้กรดคีโต เพื่อใช้ร่วมกับแอมโมเนียในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน เส้นทางการย่อยสลายและการใช้ประโยชน์ของอาหารโปรตีนและอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยแบคทีเรียในกระเพาะหมักดังแสดงใน ภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.6 การใช้ประโยชน์ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตโดยแบคทีเรียในกระเพาะหมัก
ที่มา : Nocek and Russell (1988)

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก จะใช้คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักเพื่อเป็นแหล่งของพลังงานในรูป Adenosine triphosphate (ATP) สำหรับใช้ในกระบวนการเมทแทบอลิซึมภายในเซลล์ (Nocek and Russell, 1988) (ภาพที่ 2.6) เพื่อให้มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม ซึ่งอัตราการผลิต ATP จะมีความสำคัญกับการใช้และการสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์โปรตีน หรือสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนได้สูงสุด (Aldrich et al., 1993) Haig et al. (2002) ศึกษาระดับของ RDP ที่ 42, 47.9 และ 59 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ NSC ที่ระดับ 24.5, 24.4 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่ากลุ่มที่ได้รับ RDP 47 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ NSC ที่ระดับ 24.4 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์โปรตีน และ MP มากที่สุด และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะสูงที่สุด เมื่อได้รับอาหารที่มีทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก เช่นการใช้ข้าวบาร์เลย์เป็นแหล่งของ NSC และการใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งของโปรตีนไหลผ่าน ซึ่งโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักจะเป็นตัวจำกัดปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Hoover and Stokes, 1991) ดังนั้นอัตราการ

ละลายของโปรตีนและ NSC จึงสัมพันธ์กับเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะหมัก โดยจุลินทรีย์จะได้รับพลังงาน แอมโมเนีย เปปไทด์ และกรดอะมิโนได้อย่างเพียงพอ เมื่อมีการเลือกใช้วัตถุดิบของอาหารโปรตีนที่มีอัตราการสลายตัวใกล้เคียงกันหรือเสริมกันได้

2.5 การใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ยูเรียถือว่าเป็นแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ที่มีการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก หาง่าย และสะดวกในการใช้ (ฉลอง, 2541) ถึงแม้ว่าจะมีหลักเกณฑ์กำหนดการใช้ยูเรียในอาหารเอาไว้ก็ตาม การใช้ประโยชน์บางครั้งก็ประสบความสำเร็จและมีประสิทธิภาพสูง แต่บางครั้งก็ไม่ได้ผลเท่าที่ควร แต่เมื่อมีการเพิ่มกากน้ำตาลจะช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของยูเรียได้มากยิ่งขึ้น (เมธา, 2533) อย่างไรก็ตาม NRC (1988) ได้สรุปไว้ว่าไม่ควรใช้ยูเรียเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งในอาหารหรือไม่ควรเกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารข้นที่ใช้เลี้ยงสัตว์และไม่ควรใช้ยูเรียเมื่อคิดเป็นไนโตรเจนเกิน 1 ใน 3 ส่วนของไนโตรเจนทั้งหมดในอาหาร Bhatia et al. (1980) รายงานว่า สัดส่วนของยูเรียและคาร์โบไฮเดรทในระดับ 1 ต่อ 30 (ใช้ยูเรีย 2.7 เปอร์เซ็นต์) สามารถทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะหมักของโคและกระบือมีประสิทธิภาพดีขึ้น (Burroughs et al., 1971 อ้างอิงใน เมธา, 2533) ได้เสนอระบบการใช้ยูเรียร่วมกับอาหารชนิดต่างๆ โดยใช้ระบบ urea fermentation potential (UFP) โดยอาศัยระดับโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient; TDN) และปริมาณของโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ สามารถใช้สูตรคำนวณ หาค่า UFP ของอาหารแต่ละชนิดได้คือ

$$UFP = \frac{(1.044\ TDN\text{-}B)}{2.8}$$

เมื่อค่า B แทนปริมาณของโปรตีนที่สลายในกระเพาะหมัก (กรัม) ใน 1 กิโลกรัม ของอาหารที่สัตว์กิน และ 2.8 เป็นค่าการเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นค่าไนโตรเจนของยูเรีย ดังนั้นถ้านำกากน้ำตาล (molasses) มีระดับพลังงานที่ย่อยได้ 91 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 4.3 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก 90 เปอร์เซ็นต์ หรือ 38.7 กรัมต่อกิโลกรัม จะคำนวณ UFP ได้ 20.1 กรัมต่อกิโลกรัม เปรียบเทียบกับปลาป่น (fish meal) มีระดับพลังงานที่ย่อยได้ 76 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 76.7 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก 75 เปอร์เซ็นต์ หรือ 575.2 กรัมต่อกิโลกรัม จะได้คำนวณ UFP ได้ -177.1 กรัมต่อกิโลกรัม หมายความว่า การใช้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลจะให้ผลดี ส่วนการใช้ร่วมกับปลาป่นนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนไม่ได้ผลเต็มที่เมื่อเสริมยูเรียในสูตรอาหารที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าระดับพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

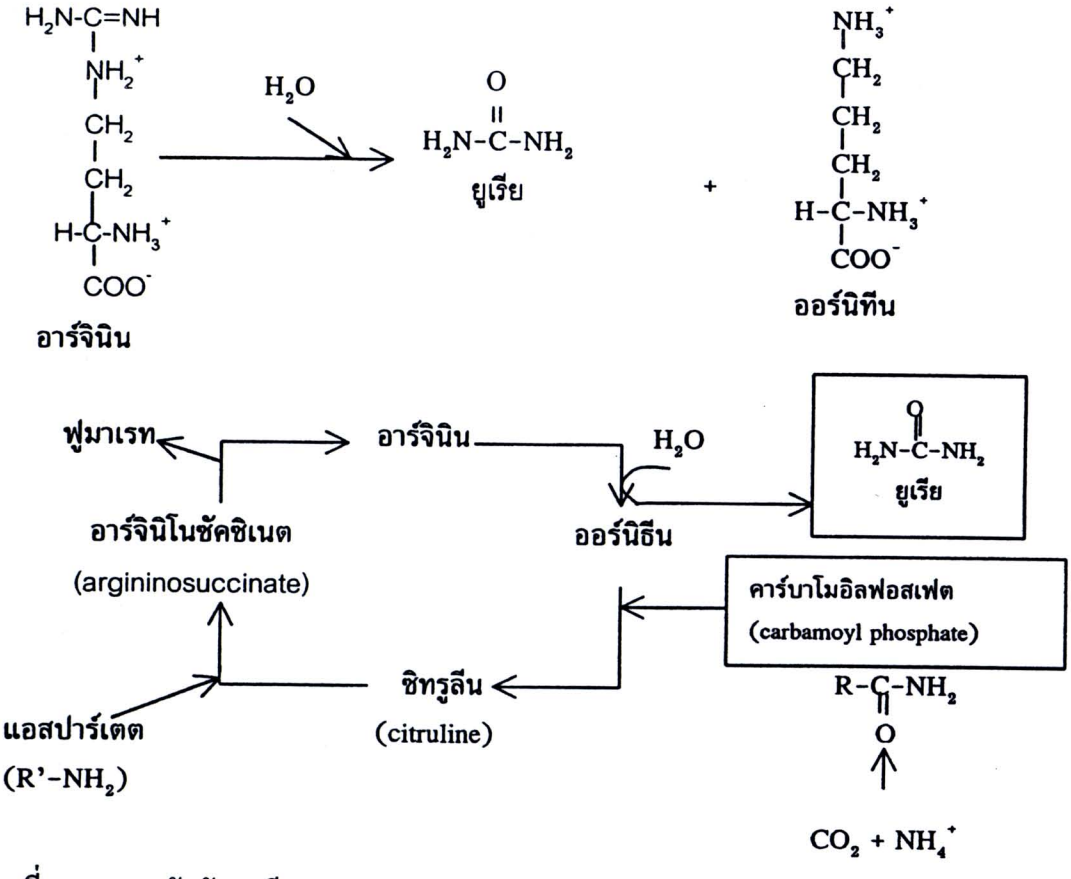
กระบวนการใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ในกระเพาะหมัก (เมธา, 2533)

1. NPN(urea) $\rightleftharpoons$ $NH_3 + CO_2$
2. CHO $\rightleftharpoons$ volatile fatty acid (VFA) +keto acid
3. NH_3+ keto acid $\rightleftharpoons$ amino acids
4. amino acids $\rightleftharpoons$ microbial protein
5. microbial protein $\rightleftharpoons$ free amino acid
6. free amino acid $\rightleftharpoons$ absorbed โดยตัวสัตว์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนต่างๆของร่างกาย

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า แอมโมเนีย เป็นตัวทำหน้าที่ในปฏิกิริยาของการใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถที่จะย่อยสารประกอบ ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ให้ได้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปอิสระ สารประกอบนั้นก็ไม่มีประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนส่วน ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้อื่นๆ ก็คล้ายกับกระบวนการใช้ยูเรีย กรณีของการใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ร่วมกับอาหารหยาบคุณภาพต่ำประกอบด้วย linocellulosic complex ที่ย่อยสลายได้ยาก ทำให้กระบวนการขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่าขั้นตอนที่ 2 กรณีเช่นนี้จะเป็นการจำกัดการผลิต กรดคีโต (keto acid) ที่จะนำมาใช้สังเคราะห์กรดอะมิโน

ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสีย แอมโมเนีย ผ่านกระเพาะหมักทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าระดับของยูเรียเหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรท จะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น แอมโมเนียส่วนที่เหลือจะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะหมักหรือผนังลำไส้ แล้วถูกส่งผ่าน portal vein ไปยังตับ และถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียโดยอาศัย urea cycle ดังภาพที่ 2.7 ส่วนโปรตีนธรรมชาติ (natural protein) ถูกย่อยในกระเพาะหมักให้เป็นกรดอะมิโน ด้วยน้ำย่อยโปรตีน (protease) จากจุลินทรีย์

การใช้ยูเรียนั้น สูตรอาหารที่จะใช้ยูเรียควรมีระดับของ TDN (total digestible nutrient) 70 เปอร์เซ็นต์ หากมีระดับของ TDN เพียง 40-45 เปอร์เซ็นต์ การใช้ยูเรียจะได้ประโยชน์น้อย แต่ถ้าระดับโปรตีนเป็น 10-11 เปอร์เซ็นต์ การใช้ยูเรียเพื่อปรับให้ระดับโปรตีนให้สูงขึ้นเป็น 14-15 เปอร์เซ็นต์ จะให้ประโยชน์เนื่องจากการใช้ระดับการเสริมยูเรียโดยทั่วๆไปนั้นมักใช้ในระดับ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารข้นหรือ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้งของอาหารทั้งหมด (ประมาณ250 กรัมของยูเรีย/วัน) หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ ในวัตถุแห้งของอาหารหมัก (เมธา, 2533)



ภาพที่ 2.7 แสดงวัฏจักรยูเรีย (Urea cycle)
ที่มา : อาภัสสรา (2537)

2.5.1 บทบาทของแอมโมเนียในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้เป็นวัตถุดิบตัวสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนของตัวจุลินทรีย์เอง ถึงแม้ว่าสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆถูกใช้ประโยชน์ แต่แหล่งใหญ่ของไนโตรเจน คือ แอมโมเนีย โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใยเป็นหลัก (Hungate, 1966) ประมาณ 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนที่ใช้โดยแบคทีเรียจะได้จากแอมโมเนียในรูเมน (Leng and Nolan, 1984) เมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารที่เป็นโปรตีนธรรมชาติ โดยทั่วไปอาหารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายให้เป็นกรดอะมิโน และเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียในกระเพาะหมักโดยการทำงานของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับสารประกอบประเภท ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ที่พบในอาหารเสริมธรรมชาติหรืออาหารเสริมพิเศษ เช่น ยูเรียจะมีการเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์ แบคทีเรีย และโปรโตซัวในกระเพาะหมัก มีส่วนรับผิดชอบในการเข้าย่อยสลายโปรตีนและการผลิตผลผลิตสุดท้าย เช่นแอมโมเนียไนโตรเจน ถึงแม้ว่าจะสามารถสกัด

น้ำย่อยสลายโปรตีนได้จากโปรโตซัว แต่เป็นการยากมากที่จะสามารถเลี้ยงโปรโตซัวได้ในสภาพปราศจากแบคทีเรีย จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอนว่า แหล่งของน้ำย่อยนั้นมาจากไหน (เมธา, 2533)

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ยูเรียในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. แหล่งของพลังงานในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนนั้น จำเป็นจะต้องอาศัยแหล่งของพลังงานที่หมักง่ายในกระเพาะหมัก เพื่อปลดปล่อยให้ได้คาร์บอน (c-skelaton) (Ørskov, 1992) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียให้เป็นกรดอะมิโน อัตราการปลดปล่อยของทั้งสองตัวนี้ต้องสอดคล้องกันจึงจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้แอมโมเนียเป็นไปอย่างสูงสุด แหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงคือ มันสำปะหลัง กากน้ำตาล เป็นต้น (Baldwin and Denham, 1979; เมธา, 2533)

2. ปริมาณซัลเฟอร์ในอาหาร เนื่องจากซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในกรดอะมิโนที่สำคัญ เช่น ซิสทีน และ เมทไธโอนีน (Grieve et al., 1973) จึงจำเป็นต้องมีอยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยพบว่าอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อซัลเฟอร์ (N:S) คือ 15 ต่อ 1และ 10 ต่อ 1 ในแกะและในโครุ่นตามลำดับ ทั้งนี้ซัลเฟอร์ที่ให้อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ (เมธา, 2533)

3. การใช้ตัวยับยั้งเอนไซม์ยูรีเอส (urease inhibitors) เนื่องจากการแตกตัวของยูเรียให้เป็นแอมโมเนียในกระเพาะหมักนั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการขัดขวางโดยใช้สารเคมีบางชนิด อาจจะลดอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียลงได้ (Huber and Kung, 1980) เช่น การใช้ acetohydroxamine acid และ barbituric aid สามารถลดการทำงานของเอ็นไซม์ยูรีเอสได้ แต่ในทางปฏิบัติยังต้องศึกษารายละเอียดต่อไป (เมธา, 2533)

4. การปรับตัวของสัตว์ จำเป็นต้องให้สัตว์มีเวลาปรับตัว ในการกินอาหารที่มียูเรียเป็นส่วนประกอบ (NRC, 1988) โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักมีระยะเวลาในการปรับตัวอาจจะแตกต่างกันออกไป แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์ อาจเพียงพอที่จะทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้ยูเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้โดยการผสมอาหารที่มียูเรียเข้ากับอาหารที่ไม่มียูเรียเป็นส่วนประกอบไปเรื่อยๆ จนครบเวลา 3 สัปดาห์ (เมธา, 2533)

5. ระดับของอาหารและความถี่ของการให้อาหาร เนื่องจากการให้อาหารบ่อยครั้งและในปริมาณน้อยจะช่วยให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากยูเรียได้ดีกว่า เช่น การให้อาหารที่มียูเรียในระดับสูง 2-3 ครั้งต่อวันแทนที่จะให้ครั้งเดียวต่อวัน (NRC, 1988; เมธา, 2533)

6. การผสมยูเรียในอาหารข้น เมื่อใช้ยูเรียในอาหารข้นจะต้องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับส่วนประกอบอื่นๆถ้ายูเรียกระจายอยู่เป็นก้อนๆ เมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้วจะทำให้เกิดเป็นพิษได้ (เมธา , 2533)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

7. การเติมยูเรียในช่วงของการหมัก เป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าของโภชนะให้กับอาหารหมักนอกจากนั้นแล้วยังเป็นการลดโอกาสที่จะเป็นพิษกับสัตว์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหาร ทั้งนี้เพราะยูเรียจะสลายตัวในระยะการหมัก ถ้าพืชที่นำมาใช้ในการหมักมีวัตถุแห้งประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ การเติมยูเรียในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยเพิ่มระดับโปรตีนประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการหมักฟางด้วยยูเรียนั้น เป็นลักษณะหนึ่งในเรื่องการเพิ่มคุณภาพอาหารหยาบคุณภาพต่ำ (เมธา, 2533)

2.5.3 ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักที่เหมาะสม

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าอยู่ระหว่าง 10-50 มิลลิกรัมขึ้นกับค่าไนโตรเจนในอาหาร ความสามารถในการละลาย (solubility) และความรวดเร็วในการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมา (Ciszuk, 1973 อ้างถึงใน Church, 1979) Satter and Slyter (1974) รายงานว่าการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นถึง 5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่ได้รับอาหารที่เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรระดับสูงขึ้นระดับแอมโมเนียก็จะสูงขึ้น 15-20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Perdok and Leng, 1990; Song and Kenelly, 1990; Wanapat, 1994) เมธา (2531) ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมักของโค 3 พันธุ์ (โคพื้นเมือง โคบราห์มันลูกผสม และโคนมลูกผสม) ที่กินหญ้าสดซิกแนล พบว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 9.04,12.42 และ 7.92 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Hume et al. 1970 อ้างถึงใน Satter and Slyter, 1974) ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย 8-13.3 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์จุลินทรีย์มากขึ้น (Ørskov et al. 1972 อ้างถึงใน Satter and Slyter, 1974) แนะนำว่า การสริมยูเรียลงในข้าวบาร์เลย์จำนวน 120 g/kg เมื่อคิดเป็นโปรตีนโดยรวมในลูกแกะ การเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อระดับแอมโมเนียในกระเพาะจริงมีค่า 4-8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ Mehrez et al. (1977) แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหมาะสมสำหรับอัตราการหมัก ค่าแอมโมเนียที่เหมาะสมคือ 23.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นเกิน 2 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ อัตราการย่อยได้จะคงที่ อธิบายได้ว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์ ต้องมีอัตราการย่อยที่เหมาะสม (optimal rate of digestion) โดยอธิบายอัตราการหมักจากการที่อาหาร (substrate) ที่สูญหายไปจากถุงไนลอนในขณะที่งานทดลองอื่นๆ อธิบายจากค่าผลผลิตของจุลินทรีย์ (microbial yield) (Wallace, 1979 อ้างถึงใน Song and Kenelly, 1990) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 9.7-21.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนหยาบ ของข้าวบาร์เลย์และกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น และได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเติม

โซดาลงในข้าวบาร์เลย์ พบว่าในของเหลวจากกระเพาะหมัก มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเพียง 2 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ยังเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกระเพาะหมัก พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำ อัตราการย่อยสลายก็ต่ำลง เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงขึ้น อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น (Wallace, 1986) จากการปรับปรุงอาหารหยาบเพื่อให้มีระดับโปรตีนหยาบสูงขึ้น Chanthai et al. (1988) รายงานว่าการใช้ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจาก 1.3 เป็น 10.3 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในกระบือส่งผลดีต่อปริมาณการกินได้และการย่อยได้ Suwanlee and Wanapat (1994) พบว่าการเติม (infusion) สารละลายยูเรียระดับ 0, 40 และ 60 กรัมต่อวัน เพิ่มระดับแอมโมเนียไนโตรเจนจาก 1.7, 5.1 และ 5.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเพิ่มการย่อยได้ของ วัตถุแห้ง ผนังเซลล์และเซลยูโล-ลิกนิน ปริมาณของแบคทีเรียสูงขึ้นเมื่อระดับแอมโมเนียสูงขึ้น

จากรายงานของ Wachirapakorn (1987) พบว่าระดับแอมโมเนียไนโตรเจนของกระบือที่ทำงานจะมีค่า 26.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมากกว่ากระบือที่ไม่ทำงาน (17.0 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) Wanapat et al. (1999) รายงานว่าการใช้อาหารก้อนคุณภาพสูง (HQFB) เสริม ที่ประกอบด้วยรำข้าว 15 เปอร์เซ็นต์ กากเมล็ดฝ้าย 15 เปอร์เซ็นต์ ปลาป่น 15 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล 35 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 10 เปอร์เซ็นต์ ไวตามิน AD_3E และแร่ธาตุ 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลต่อระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 7.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และเมื่อเสริมการใช้อาหารก้อนด้วยอาหารข้นที่ระดับ 1 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว พบว่าแอมโมเนียมีค่า 2.3 และ 2.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะมีผลให้ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงปกติ 6.7-6.9 สามารถเพิ่มการกินได้ของฟางข้าวและอาหาร โดยรวม มีผลเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในรูเมน นอกจากผลกระทบในกระเพาะหมักแล้ว Warly et al. (1992) ยังพบว่าการเพิ่มระดับแอมโมเนียในรูเมนจาก 6.3 เป็น 24.1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะมีผลให้ระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้อง (rumination time) ลดลง

2.5.4 ความสัมพันธ์ของระดับแอมโมเนียต่อยูเรียในเลือด

ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตแอมโมเนียในกระเพาะหมักและระดับยูเรียในเลือด ส่วนมากจะมีความสัมพันธ์ต่อกันโดยตรง และมีผลต่อการดูดกลับ (reabsorbed) กระบือที่ได้รับการเสริมโปรตีน 18.2 เปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบเปรียบเทียบกับกระบือที่ปล่อยเลี้ยง พบว่าไม่มีความแตกต่างของระดับยูเรียในพลาสมา แต่จะมีผลต่ออัตราการดูดกลับของยูเรียในกระแสเลือดมาใช้ได้ 11.56 และ 7.42 mg/min ตามลำดับ (Chaiyabutr et al., 1995) Warly et al. (1992) พบว่าเมื่อระดับแอมโมเนียเพิ่มจาก 6.3 ถึง 24.1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะมีผลให้ระดับยูเรียในเลือดเปลี่ยนจาก 10.4 เป็น 26.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาโดย Song and Kenelly (1990) พบว่าการเพิ่ม

ระดับแอมโมเนียในรูเมนจาก 7.9 ถึง 15.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะมีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มระดับยูเรียในเลือดจาก 7.9 ถึง 13.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกันมากและลดลงหลังจากการให้อาหารมากขึ้น อย่างไรก็ตาม Wanapat et al. (1999) รายงานว่าการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงในกระบือจะเพิ่มแอมโมเนียในกระเพาะหมักจาก 3 เป็น 7.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และพบว่ามีผลทำให้ระดับยูเรียในเลือดเพิ่มจาก 12.2 เป็น 49.9 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพิ่มตามระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักโดยไม่เกิดพิษ และในการศึกษาการเติมสารละลายยูเรียเข้าในกระเพาะหมักของ โคนมโดย Depeters and Ferguson (1992) พบว่าการเติมสารละลายยูเรีย 0 ถึง 660 กรัมต่อวัน มีผลให้ระดับแอมโมเนียเพิ่มจาก 15.9 ถึง 51.1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ทำให้มีผลต่อระดับยูเรียในเลือดเพิ่มขึ้นจาก 25.1 ถึง 64.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.5.5 ความเป็นพิษเนื่องจากแอมโมเนีย (ammonia alkalosis or toxicity)

การเป็นพิษจะเกิดขึ้นได้ถ้าสัตว์ได้รับยูเรียมากเกินไป ยูเรียจะถูกละลายในน้ำและถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ยูรีเอสให้ได้แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแอมโมเนียจะเป็นพิษกับเนื้อเยื่อสัตว์ ยูเรียเองจะไม่เป็นพิษ จะเห็นว่ากระบวนการลดพิษเนื่องจากแอมโมเนียนั้น ยูเรียจะถูกผลิตขึ้นที่ตับโดยอาศัยวัฏจักรยูเรีย (ดังภาพที่ 2.7) เนื่องจากแอมโมเนียมีคุณสมบัติเป็นด่าง (alkaline) เล็กน้อย คือมี pKa 8.8 ที่ 40 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยปกติปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียอีกครั้งที่ตับ (NRC, 1988) ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสเลือดที่จะก่อให้เกิดเป็นพิษมีค่า 1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (NRC, 1988; เมธา, 2533) การตรวจเช็คระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวกระเพาะหมักที่เป็นพิษได้ ค่าความเป็นพิษมีค่า 80 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และเป็นตัวที่จะชี้ความสามารถของตับในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นยูเรีย (NRC, 1988) อย่างไรก็ตาม Huber and Kung (1981) รายงานว่าระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของกระเพาะหมักและระดับแอมโมเนียในเลือดจะเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความเป็นพิษได้ดีกว่าระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักและยูเรียในเลือด โดยระดับแอมโมเนียในเลือดจากเส้นเลือดดำ carotid และ jugular ที่มีผลให้กล้ามเนื้อเกร็งกระตุก คือ 1.46 และ 0.96 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเริ่มแรกสัตว์จะมีอาการทางประสาทน้ำลายไหลออกมามาก มีการสั่นของกล้ามเนื้อ และต่อมาเกิดความไม่สมดุลของร่างกาย มีอาการหายใจขัด ปัสสาวะบ่อย หมดแรง ขาหน้าแข็งไม่สามารถเคลื่อนที่หรือขยับได้ สัตว์จะล้มตัวลง ส่วนใหญ่สัตว์จะมีอาการทุรนทุลาย สุดท้ายจะมีอาการชักกระตุก ชีพจรที่ jugular เต้นเร็ว และมีอาการ bloat หลังจากอาการเริ่ม 30 นาที- 2 ชั่วโมง สัตว์จะตายได้ (NRC, 1988) ถ้าสัตว์เริ่มมีอาการให้รีบแก้ไขโดยกรอกปากด้วยน้ำส้มสายชูหรือกรดอะซิติกผสมน้ำเย็น กรดจะช่วยลดความเป็นด่างของ

กระเพาะหมักและเลือด รวมทั้งลดอุณหภูมิของ rumen fluid และเพื่อที่จะลดอัตราการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย นอกจากนี้การที่น้ำเย็นไปเจือจางแอมโมเนีย จะช่วยลดการดูดซึมของแอมโมเนียที่ผนังกระเพาะหมัก ส่วนการใช้กรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้มสายชูละลายในน้ำเย็น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้น้ำเย็นเพียงอย่างเดียว เพราะสารละลายดังกล่าวจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็น แอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate) ทำให้ ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักลดลงและทำให้การดูดซึมของแอมโมเนียลดลง (NRC, 1988) ปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเป็นพิษของแอมโมเนียในตัวสัตว์มาจากการที่ไม่มีระยะการปรับตัวแก่สัตว์ในการใช้สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ เช่น ยูเรีย จึงง่ายต่อการเกิดพิษ การดูดซึมแอมโมเนียจากกระเพาะ อัตราการดูดซึมของแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของกระเพาะหมัก เป็นผลเนื่องจากความสมดุลระหว่างอัตราการผลิตกรดไขมันระเหยได้ และการหลั่งน้ำลาย ในด้านอาหารจะเกี่ยวกับความสมดุลระหว่าง ปริมาณของอาหารคาร์โบไฮเดรทที่ใช้ประโยชน์ได้เร็ว (readily available arbohydrate) และอาหารเยื่อใย (Ahn, 1992) ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูง และมีแอมโมเนียมากอัตราการดูดซึมแอมโมเนียจะสูง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ และมีแอมโมเนียน้อยอัตราการดูดซึมจะต่ำ (Leng and Nolan, 1984)

2.6 การนำกลับไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะหมัก

ไนโตรเจนสามารถกลับเข้าสู่กระเพาะหมักในรูปของยูเรียโดยผ่านทางน้ำลายและโดยการแพร่ (diffusion) ของยูเรียในเลือดผ่านผนังกระเพาะหมัก ขณะที่ยูเรียผ่านเข้าสู่ผนังกระเพาะหมักนั้น ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย โดยเอ็นไซม์ยูรีเอส ของแบคทีเรียที่ซึมเข้าไปอยู่ใน ruminal epithelium การนำกลับของยูเรียเข้าสู่กระเพาะหมักนี้ช่วยทำให้การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรืออยู่ในระยะอดอาหาร โดยประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับ จะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะหมักโดยผ่าน 2 ทางดังกล่าว (เมธา, 2533) แอมโมเนียไม่ถูกใช้โดยจุลินทรีย์จะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะหมักเข้ากระแสโลหิต ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดต่ำลงอย่างรวดเร็วโดยผลิตเป็นยูเรียโดยวัฏจักรยู่เรียในไซโตซอล (cytosal) และไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ที่ตับ N อะตอมหนึ่งของยูเรียมาจาก NH_4^+ และ N อีกอะตอมหนึ่งมาจาก แอสปาร์เตท (aspartate) ส่วน C อะตอมมาจาก CO_2 ออร์นิทีน (ornithine) ทำหน้าที่เป็นพาหะของ C และ N อะตอม ในยูเรีย สารต้นตอโดยตรงของยูเรีย คือ อาร์จินีน จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นยูเรีย และออร์นิทีน โดยการทำงานของเอ็นไซม์อาร์จิเนส (arginase) (อาภัสสรา, 2537)

2.7 ยูเรียในเลือด

จากการศึกษาเมทธาโบลิซึมของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทำให้ทราบว่าโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ถูกย่อยสลายครั้งแรกในกระเพาะหมักโดยการทำงานของจุลินทรีย์ ผลจากการย่อยได้ส่วนหนึ่งจะเป็นแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักทางเส้นเลือดฝอย และถูกนำเข้าสู่ ruminal vein แล้วส่งไปสู่ตับทาง portal vein จากนั้นตับจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นยูเรีย ยูเรียที่สังเคราะห์ในตับนี้จะส่งออกมายังเลือด ส่วนหนึ่งของยูเรียจะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะหมักทางน้ำลาย ส่วนหนึ่งจะถูกขับออกมากับปัสสาวะ ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของแอมโมเนียที่ผลิตขึ้นในกระเพาะหมัก (Lewis, 1957) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักมีค่าสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนียใน portal vein ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียใน portal vein สูงขึ้นความเข้มข้นของแอมโมเนียในเลือดจะมีค่าสหสัมพันธ์โดยตรงกับอาหารที่กินหากอาหารมีระดับไนโตรเจนสูง ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักสูง ความเข้มข้นของยูเรียในเลือดก็จะสูงตามไปด้วย Akkada and Osman (1967) กล่าวว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของยูเรียในเลือด และสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบอกถึงค่าการสะสมไนโตรเจนในร่างกาย

2.8 สมดุลไนโตรเจน

ไนโตรเจนถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ ในการประเมินความสมดุลของโปรตีนในสูตรอาหารที่ได้รับและที่ถูกขับออกจากตัวสัตว์ โดยไนโตรเจนที่ถูกขับออกจะอยู่ในรูปของยูเรีย และแอมโมเนียในปัสสาวะ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในมูล รวมถึงโปรตีนที่ถูกนำไปสร้างในเซลล์จุลินทรีย์ ไนโตรเจนในปัสสาวะ (urine nitrogen) จะเป็นตัวบ่งชี้ของโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabilizable protein) โดยในกระบวนการเมทธาโบลิซึมของโปรตีน จะเกิดกระบวนการ deamination เป็นส่วนใหญ่ และไนโตรเจนก็จะถูกขับออกมากับปัสสาวะละส่วนใหญ่ที่ไม่ถูกย่อยก็ขับออกมากับมูล กรดอะมิโนนอกจากจะเป็นตัวหลักในการสร้างโปรตีนแล้วยังเป็นแหล่งพลังงานด้วย เมื่อแหล่งพลังงานอื่นไม่เพียงพอ ก็จะสลายกรดอะมิโนและได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นแอมโมเนีย จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์ ดังนั้นร่างกายสัตว์จะลดความเป็นพิษของแอมโมเนียโดยการเปลี่ยนรูปเป็นยูเรีย หรือ ยูริค เพื่อพิจารณาถึงสมดุลไนโตรเจน ถ้าไนโตรเจนที่ได้รับน้อยกว่าไนโตรเจนที่ขับออก สมดุลไนโตรเจนเป็นลบ กล่าวได้ว่า โปรตีนและกรดอะมิโน จะถูกนำไปใช้รวดเร็วมากกว่าที่กักเก็บได้ และอาจจะเนื่องจากความไม่สมดุลของสัดส่วน กรดอะมิโน เช่นถ้ากรดอะมิโน A มีปริมาณน้อยและขาดไม่ได้

ดังนั้น กรดอะมิโน B จะต้องเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน A ต้องใช้พลังงานถ้าพลังงานอื่นไม่เพียงพอ แหล่งพลังงานก็จะมาจากกรดอะมิโนนั่นเอง ทำให้มีการขับออกของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และอาจจะต้องใช้ กรดอะมิโน 1-2 ตัว ในการสร้างกรดอะมิโน 1 ตัว

2.9 มันสำปะหลังและการใช้ประโยชน์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.9.1 องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนะ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*, Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถเจริญได้ดีในดินร่วนปนทราย ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและยังเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการสะสมอาหารในส่วนราก KKU-IDRC (1980) รายงานว่าตัวอย่างมันเส้นที่สุ่มมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีระดับโปรตีนหยาบ 1.9 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 16.37 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลยูโลส-ซิลิก้า (lignocelluloses-silica) 7.52 เปอร์เซ็นต์ และกรดไฮโดรไซยานิก 33.06 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นอกจากนี้ เมธาและฉลอง (2533) รายงานว่ามันสำปะหลังตากแห้งสามารถใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนะต่างๆในระดับสูง โดยมีวัตถุแห้ง 90 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ 24.7 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่ย่อยได้ 18.3 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ 17.3 เปอร์เซ็นต์ โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด 56 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 1.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.4 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 29.6 เปอร์เซ็นต์ เซลยูโล-ลิกนิน 24.1 เปอร์เซ็นต์ Wanapat (1999) รายงานการศึกษาการเก็บมันสำปะหลังทั้งต้น โดยหักเหนือพื้น 15-30 เซนติเมตร ที่อายุประมาณ 3 เดือน นำมาตากแห้งเพื่อผลิตมันเฮย์ พบว่าระดับโปรตีนหยาบของมันเฮย์อยู่ที่ 24.9 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.6) จึงถือว่ามันเฮย์เป็นอาหารหยาบที่มีระดับโปรตีนสูงเมื่อเสริมให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ (Wanapat et al., 2000b) ระดับของกรดไฮโดรไซยานิคภายหลังการตากแดด 1-3 วัน เหลือ 0.348 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำ ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งในโค 11.2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน คิดเป็น 3.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 71 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (rumen degradable protein) ของมันเฮย์มีค่า 48.8 เปอร์เซ็นต์ (Wanapat, 1999) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ อาจเป็นผลมาจากการที่มันสำปะหลังประกอบไปด้วยสารแทนนิน ซึ่งสามารถจับตัวกับโปรตีนได้ในรูปของแทนนิน-โปรตีนคอมเพลกซ์ ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการไหลผ่าน จากกระเพาะรูเมนลงไปยังกระเพาะจริงและลำไส้เล็กได้เป็นอย่างดี (เมธา, 2540; Wanapat et al., 1999) นอกจากนี้ Wanapat et al. (2000c) รายงานว่ามันเฮย์มีโภชนะสูงเมื่อเทียบกับอัลฟาฟ่าเฮย์ และกากถั่วเหลือง (ตารางที่ 2.7)

2.9.2 การปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตมันเฮย์

การปลูกมันสำปะหลังเพื่อทำมันเฮย์มีจุดประสงค์ในการปลูกเพื่อใช้ใบและต้น จึงต้องมีระยะการปลูกที่ถี่ขึ้นเป็น 2 เท่าของการปลูกเก็บหัว สามารถหักใช้ได้เมื่ออายุ 3 เดือนและต่อไปทุกๆ 2 เดือน นอกจากนี้ในพื้นที่ปลูกควรมีการปลูกพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆสลับโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว เช่นกระถิน ถั่วมัน เป็นต้น เพื่อเพิ่มไนโตรเจนในดิน และถั่วเหล่านี้ยังสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย (เมธา, 2542; Wanapat et al., 2000) ซึ่งผลผลิตมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวภายหลังการปลูก 3 เดือน ได้น้ำหนักสด 12,131 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 3,302 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อคิดเป็นผลผลิตการเก็บในครั้งแรกรวมกับการเก็บทุก 2 เดือน ได้ผลผลิตน้ำหนักสด 50,087 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 11,786 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างไรก็ตามนอกจากมันเฮย์ที่เป็นผลผลิตหลักแล้วยังสามารถเก็บหัวมันซึ่งถือเป็นผลพลอยได้อีกประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ควรจะได้ (เมธา, 2542) ดังนั้นจึงถือได้ว่ามันเฮย์เป็นอาหารหยาบคุณภาพสูงและมีส่วนประกอบอื่นๆที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นพืชอาหารสัตว์ราคาถูกที่มีอยู่ในท้องถิ่นสามารถหาได้ง่าย จึงสามารถช่วยลดต้นทุนด้านอาหาร และเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงสัตว์ให้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.6 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของมันเฮย์เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 3 เดือน

มันสำปะหลัง	DM	Ash	CP	NDF	ADF	ADL	CT, mg%	HCN, mg%
ใบ	95.3	5.7	25.7	32.3	25.2	6.5	0.126	
ก้าน	93.2	5.0	8.9	49.3	47.3	8.1	0.086	
ลำต้น	82.7	5.3	14.6	38.8	32.5	5.7	0.083	
รวมทั้งลำต้น (ตากแห้ง)	93.4	6.6	24.9	34.4	27.0	5.8	0.340	0.348

DM = วัตถุแห้ง, CP = โปรตีนหยาบ, NDF = เยื่อใย NDF, ADF = เยื่อใย ADF, ADL = ลิกนิน, CT= คอนเดนส์แทนนิน, HCN= กรดไฮโดรไซยานิก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wanapat (1999)

2.9.3 แทนนินในมันเฮย์

แทนนินเป็นสารประกอบโพลิฟีนอล (polyphenols) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปในพืชเขตร้อนรวมทั้งมันสำปะหลัง แทนนินมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และสามารถตกตะกอนโปรตีนได้

Norton (1999) แบ่งแทนนินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (hydrolysable tannin; HT) และคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannin; CT) ซึ่ง HT ในธรรมชาติจะประกอบด้วย gallic acid (gallo tannins) และ alagic acid (elagi tannins) เป็นโมเลกุลกลาง จับด้วยโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) และสารฟีนอล (Lowry et al., 1996; Norton, 1999)

ตารางที่ 2.7 ระดับของกรดอะมิโนจากแหล่งโปรตีนชนิดต่างๆ (g/16 gN)

ชนิดกรดอะมิโน	SBM[1]	CL[2]	CH[3]	AH[3]
อลานีน	4.4	5.7	6.3	n.a.
โปรลีน	5.6	n.a.	2.9	n.a.
ไทโรซีน	4.7	4.0	1.8	0.4
วาลีน	5.1	5.6	2.4	0.7
เมทไธโอนีน	1.6	1.9	0.6	0.2
ซีสทีน	1.6	1.4	0.3	0.2
ไอโซลูซีน	4.7	4.5	13.1	0.7
ลูซีน	7.1	8.2	2.9	1.1
เฟนิลอลานีน	5.6	5.4	1.9	0.8
ไลซีน	6.5	5.9	1.7	0.6
แอสพาราจีน	n.a.	n.a.	6.8	n.a.
กลูตามีน	19.0	12.3	9.6	n.a.
เซรีน	5.5	n.a.	2.8	n.a.
ไกลซีน	4.4	4.9	2.6	1.9
ฮีสทีดีน	2.8	2.3	1.5	1.2
กรดแอสพาติค	11.9	9.8	n.a.	n.a.
ทรีโอนีน	4.2	4.4	n.a.	n.a.
ทริปโตเฟน	n.a.	2.0	n.a.	n.a.
อาร์จินิน	7.5	5.3	2.4	3.8

SBM= soybean meal, CL=cassava leaf, CH=cassava hay, AH= alfalfa hay

ที่มา : [1] Asplund (1994)

[2] เมธา และคณะ (2538)

[3] Wanapat et al. (2000)

ส่วน CT หรือ proanthocyanidins เป็นสารประกอบที่ไม่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นโมเลกุลกลาง แต่ประกอบด้วยโพลิเมอร์ (polymer) หรือโอลิโกเมอร์ (oligomer) ของ flavonoids units (polyhydroxyflavin-3-ol units) เชื่อมกันในหลายตำแหน่ง (Reed, 1995; Lowry et al., 1996)

บทบาทของแทนนินในพืชอาหารสัตว์ ถ้ามีแทนนินสูงเกินไป (มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์) จะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสมรรถนะการเจริญเติบโตลดลง (Reed et al., 1982; Barry and Menley, 1984) แต่ถ้ามีแทนนินในระดับต่ำถึงปานกลาง คือ ประมาณ 2-4 เปอร์เซ็นต์ จะป้องกันการเกิดท้องอืดในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพิ่มการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน เพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของไนโตรเจนสู่กระเพาะรูเมน และเพิ่มอัตราการหลั่งน้ำลาย ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณไกลโคโปรตีน และยูเรีย ส่งผลดีต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน (Woodward, 1997; McNabb et al., 1993; Reed, 1995) นอกจากนี้ Makkar et al. (1995) พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ในเชิงส่งเสริมที่ดีซึ่งกันและกันในการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และยังมีแนวโน้มช่วยลดพิษของกรดไฮโดรไซยานิค ซึ่งมีอยู่ในมันสำปะหลังด้วย แทนนินในใบมันสำปะหลังแห้งอยู่ในช่วง 0.31-0.34 เปอร์เซ็นต์ (Onwuka, 1992) แทนนินอาจจับกับโปรตีนในรูปแทนนิน-โปรตีนคอมเพลกซ์ หรือจับกับคาร์โบไฮเดรตที่ส่วนของผนังเซลล์พืช สำหรับแทนนิน-โปรตีนคอมเพลกซ์ เกิดจากการจับตัวกันของสารประกอบฟีนอลิกส์ คือแทนนินกับโปรตีนในรูปที่ไม่ละลายน้ำซึ่งการจับตัวกันมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ขนาดโมเลกุล ความสามารถในการละลาย และจำนวนของ free phenolics group ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่าง phenolic proton และ carbonyl groups ของเปปไทด์ (Lowry et al., 1996) พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรง และไม่สลายในสภาวะความเป็นกรด-ด่าง 3.5-7 แต่สามารถสลายและปลดปล่อยโปรตีนออกได้ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่า 3.5 (Jones and Mangan, 1977) ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความใกล้เคียงกับกระเพาะจริงของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ผลกระทบของแทนนินในพืชที่มีต่อสัตว์พบว่า HT มีศักยภาพในการเป็นพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดย HT จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ tannase ซึ่งจะทำการไฮโดรไลซ์ galloyl esters ซึ่ง gallic acid ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกเมทธาบอไลซ์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนอีกครั้ง ได้เป็น pyrogallol และสารประกอบฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หลังจากนั้นจะถูกดูดซึมจากกระเพาะรูเมน ซึ่งสารประกอบฟีโนลิกเหล่านี้ จะถูกขับออกกับปัสสาวะในรูป glucoronides (Murdiati et al., 1992; Norton, 1999) ส่วน pyrogallol ที่ได้จากการย่อยสลาย HT จัดเป็นสารพิษประเภท hepatotoxin และ nephontoxin ส่วน CT ไม่เป็นพิษในสัตว์เคี้ยวเอื้องเพราะจะไม่ถูกดูดซึม แต่อาจมี

ผลระคายเคืองต่อรอยแผลของเยื่อบุกระเพาะ (Reed, 1995) แต่ในมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะประกอบด้วย CT (0.34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (เมธา, 2540; Wanapat, 1999)

อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Barry and Manley (1984) พบว่าที่ระดับของ CT 50-100 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และการย่อยสลายของเยื่อใยภายในกระเพาะรูเมนด้วย แต่หากระดับของ CT เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารโปรตีน โดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนไหลผ่านสู่ทางเดินอาหารส่วนหลัง รวมถึงการเพิ่มปริมาณการดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ลำไส้เล็ก โดยเฉพาะกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และซีสตีน ที่สามารถดูดซึมได้เพิ่มขึ้นถึง 62 เปอร์เซ็นต์ (Waghorn et al., 1987; Woodward and Reed, 1997) ระดับที่เหมาะสมของ CT อยู่ที่ 20-40 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Waghorn et al., 1987)

ส่วนการศึกษาถึงผลกระทบของ CT ต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดย Jone et al. (1977) ทำการศึกษาผลของ CT จาก sainfoin (*Onobrycis viciifolia* Scop.) ต่อแบคทีเรียที่ใช้โปรตีน พบว่าที่ระดับของแทนนิน 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัมของ CT จะสามารถจับกับ cell coat ของ *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Streptococcus bovis* และเซลล์ที่กระตุ้นการสลายโปรตีน (cell associated proteolytic activity) ได้ที่ 48 และ 92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่แทนนินที่ใช้ในระดับที่เหมาะสมจะส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แทนนินร่วมกับแซปโปนิน (saponin) (Makkar et al., 1995) นอกจากนี้ Chiquette et al. (1989) พบว่าเมื่อมีแทนนินในระดับต่ำจะส่งผลทำให้จำนวนของโปรโตซัวลดลงด้วย

2.10 ถั่วมันและการใช้ประโยชน์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ถั่วมัน (*Phaseolus calcaratus*) เป็นพืชตระกูลถั่วทรงเลื้อยขนาดเล็กสูงประมาณ 30-75 เซนติเมตร มีดอกสีเหลือง อายุประมาณ 2 เดือนก็ออกดอก และอายุประมาณ 3-4 เดือนสามารถเก็บเกี่ยวตากแห้งทั้งต้นเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์ได้ (Wanapat et al., 2006) โดยมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.8 โดยทั่วไปจะมีโปรตีนหยาบประมาณ 17.8-22.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง 42 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตน้ำหนักแห้งประมาณ 0.3 ตันต่อไร่ องค์ประกอบของคอนเดนซ์แทนนินอยู่ระหว่าง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบมากในใบ จากการรายงานของ Joomjuntha and Wanapat (2007) พบว่า ถั่วมันอายุ 3 เดือนจะมีโปรตีน 18.1 เปอร์เซ็นต์ และมีคอนเดนซ์แทนนิน 3.7 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาปลูกร่วมกับมันสำปะหลังพบว่าเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินและโปรตีนรวม (Chanthakhoun et al., 2008)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

การศึกษาความสามารถในการย่อยได้ของถั่วมันในช่วงอายุต่างกันด้วยการจุ่มบ่มในกระเพาะรูเมนพบว่า ส่วนที่ละลายได้ง่ายมีอยู่สูง การย่อยได้ของอินทรียวัตถุไม่ต่างกัน แต่ส่วนที่ย่อยสลายได้ช้าจะมีมากในช่วงอายุที่มากขึ้น ประสิทธิภาพการย่อยอินทรียวัตถุดีกว่าวัตถุแห้ง (Wanapat, 2008) และการศึกษาการย่อยได้ในกระบือปลักพบว่า มีปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว 2.4 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 71 เปอร์เซ็นต์ และของอินทรียวัตถุ 75.2 เปอร์เซ็นต์ และการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างถั่วมันและหญ้ารูซี่พบว่า อัตราการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนไม่แตกต่างกัน แต่ประสิทธิภาพการย่อยสลายในถั่วมันดีกว่าหญ้ารูซี่ (Wanapat, 2008)

ตารางที่ 2.8 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของถั่วมัน (*Phaseolus calcaratus*) ที่อายุต่างกัน

รายการ	อายุ (เดือน)				เมล็ด
	2	3	4	SEM	
ผลผลิตน้ำหนักสด, kg/ha	2857[a]	3571[b]	3929[c]	150	-
ผลผลิตน้ำหนักแห้ง, kgDM/ha	542.8[a]	903.5[b]	1186.6[c]	79.9	-
วัตถุแห้ง, %	19.0[a]	25.3[b]	30.2[c]	0.48	82.1
องค์ประกอบทางเคมี, %	..... % ของวัตถุแห้ง.....				
น้ำหนักวัตถุแห้ง, DM	91.8[a]	90.4[b]	95[c]	0.45	96.8
อินทรียวัตถุ, OM	90.8[a]	90.5[b]	89.8[c]	0.23	94.6
เถ้า	9.20[a]	9.50[b]	10.15[c]	0.36	5.1
โปรตีนหยาบ, CP	20.1[a]	19.03[b]	18.91[c]	0.25	22.5
เยื่อใย NDF	43.4[a]	47.8[b]	50.6[c]	1.2	-
เยื่อใย ADF	27.4[a]	28.4[b]	30.6[c]	0.43	-
ลิกนิน, ADL	8.9[a]	12.8[b]	13.5[c]	1.4	-
คอนเดนส์แทนนิน, CT	2.7[a]	2.3[b]	2.2[c]	0.25	2.0

SEM= ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย

[abc] ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีอักษรแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่มา: Wanapat (2008)

จากการศึกษาลักษณะการย่อยได้ของถั่วมันเปรียบเทียบกับมันเฮย์โดยใช้เทคนิคถุงไนลอน พบว่า อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้งของถั่วมันมีค่าต่ำกว่า ($P<0.05$) มันเฮย์ ที่ชั่วโมงที่ 4, 8, 12, 48 และ72 ของการบ่ม อย่างไรก็ตามก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ชั่วโมงที่ 24 ของการบ่ม (ตารางที่ 2.9)

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบลักษณะการย่อยได้ของวัตถุแห้งระหว่างถั่วมันและมันเฮย์

รายการ	PC	CH	SEM
ชั่วโมงที่บ่ม (h)			
0 (washing loss)	9.3	17.3	
4	16.5[a]	28.4[b]	1.69
8	17.8[a]	32.9[b]	2.63
12	22.7[a]	35.7[b]	0.80
24	38.4	41.3	0.97
48	39.8[a]	46.8[b]	1.07
72	44.8[a]	50.7[b]	0.55
DM degradation parameters (%)			
A	8.7	25.6	
B	37.8	27.6	
C	0.042	0.032	
A+B	46.4	53.2	
Effective degradation of DM	34.3	42.6	

PC= ถั่วมัน (*Phaseolus calcaratus*), CH= มันเฮย์, SEM= ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย

[ab] ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีอักษรแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่มา : Poungchompu et al. (2006)

2.11 หม่อนและการใช้ประโยชน์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.11.1 ลักษณะทั่วไปของหม่อน

หม่อน (Mulberry) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba Linn.* อยู่ในวงศ์ Moraceae เป็นไม้พุ่มหรือยืนต้น หม่อนเป็นพืชกึ่งเมืองร้อน (sub-tropical) แต่สามารถขึ้นในแถบโซนร้อนทั่วไปได้ เป็น

พืชที่ทนแห้งแล้งได้พอควร ดังนั้นหม่อนจึงขึ้นได้ดีทั่วประเทศไทย อาจกล่าวได้ว่าหม่อนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกชนิด หม่อนชอบดินร่วนปนทรายดูดซึมน้ำได้ดี และดินที่มีลักษณะค่อนข้างเป็นด่าง ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์ดี ต้นหม่อนก็จะให้ผลผลิตสูง ใบหม่อนทั่วไปมีรูปลักษณะแหลมและขอบใบหยัก อาจมีทั้งที่เว้ามากและไม่เว้าเลย ฐานใบมีลักษณะคล้ายใบโพธิ์ ตามผิวใบมีเยื่อ cuticle ซึ่งช่วยป้องกันการระเหยน้ำจากใบ ดอกหม่อนรวมกันเป็นช่อ 4-10 ดอก และอาจเป็นดอกที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน โดยรวมอยู่ในช่อดอกสมบูรณ์ คือมีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน (ช่อลัดดา, 2548) โดยทั่วไป *Morus alba* ปลูกไว้เพื่อใช้ใบเลี้ยงไหม ส่วน *Morus nigra, Morus rubra* และ *Morus macroura* ปลูกไว้เพื่อใช้ผลรับประทานซึ่งผลจะมีขนาดใหญ่ อาจมีความยาวถึง 8 เซนติเมตร ประเทศไทยส่วนใหญ่จะปลูก *Morus alba* เพื่อใช้ใบเลี้ยงไหม หม่อนพันธุ์พื้นเมือง เพศเมียที่นิยมปลูกในประเทศไทย เช่น หม่อนไผ่ และหม่อนคุณไพ มีผลขนาดเล็กจึงไม่นิยมนำมารับประทาน ปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้ปรับปรุงพันธุ์หม่อนจนได้ลูกผสมที่มีผลและใบขนาดใหญ่ คือ พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และนครราชสีมา 60 จึงทำให้ได้ผลหม่อนสำหรับรับประทาน โดยจะให้ผลประมาณ 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ขึ้นอยู่กับการตัดแต่งกิ่งและระยะปลูก โดยทั่วไปหม่อนออกลูกในช่วงเดือนธันวาคม-มีนาคม ของทุกปี แต่ออกลูกนอกฤดูได้ถ้ามีการตัดแต่งกิ่ง (วิโรจน์, 2539)

2.11.2 พันธุ์หม่อนที่นิยมปลูกในประเทศไทย พบว่าพันธุ์หม่อนมากกว่า 50 พันธุ์ ที่ปลูกอยู่ในประเทศไทย แต่ละพันธุ์แตกต่างกันไปตามลักษณะของลำต้น ใบและดอก หม่อนพันธุ์เดียวกันอาจมีความแตกต่างกันตามสภาพของการเพาะปลูก (คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย, 2525)

2.11.2.1 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (บร.60) เป็นหม่อนลูกผสมที่มีอัตราการออกรากดี ให้ผลผลิตต่อไร่สูง การเจริญเติบโตดี และตอบสนองต่อปุ๋ยสูง เป็นพันธุ์ที่ปลูกได้ดีในทุกสภาพพื้นที่ ลักษณะของใบไม่มีแฉก ใบขนาดใหญ่ หนา อ่อนนุ่ม ไม่เหี่ยวง่าย และมีพื้นที่ใบมาก ลักษณะทรงพุ่มดี ตั้งตรงหลังจากเก็บเกี่ยวหรือตัดแต่งกิ่ง การแตกกิ่งเร็ว ไม่พักตัวในทุกฤดู ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 4,328 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2536)

2.11.2.2 พันธุ์นครราชสีมา 60 (นม.60) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ทั่วไป ตั้งแต่ที่ราบจนถึงพื้นที่อยู่สูงกว่าระดับทะเล 1,000 เมตร เป็นพันธุ์ที่มีความสามารถแตกกิ่งหลังตัดแต่งได้ดี ใบนุ่มหนาปานกลาง ทำให้เหี่ยวช้าหลังเก็บเกี่ยว ใบไม่ร่วงง่าย ให้ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 3,600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ใบมีคุณค่าทางอาหารสูง ต้านทานต่อโรคราแป้ง ทรงต้นตั้งตรงสะดวกในการเขตกรรมและการดูแลรักษา (กรมวิชาการเกษตร, 2536)

2.11.3 คุณประโยชน์ของหม่อน

สามารถแยกได้ ตามส่วนต่างๆของต้นหม่อน (ช่อลัดดา, 2548) ดังนี้

2.11.3.1 ยอดหม่อน นำมาต้มใช้ดื่ม และล้างตาเพื่อบำรุงสายตา

2.11.3.2 กิ่งหม่อน และโคนต้นหม่อน นำมาตัดเป็นท่อนผึ่งให้แห้ง ใช้ต้มน้ำดื่ม ช่วยทำให้เลือดลมไหลเวียนสะดวกรักษาอาการปัสสาวะสีเหลืองและมีกลิ่นฉุน ขจัดความร้อนในปอดและกระเพาะอาหาร ขจัดการหมักหมมในกระเพาะอาหาร เสลดในปอด และใช้รักษาอาการปวดมือ เท้า เป็นตะคริว และเหน็บชา

2.11.3.3 รากหม่อน สามารถลดปริมาณน้ำตาลในเส้นเลือด เพราะมีสารอัลคาลอยด์ (alkaloid) dexynojirimycin (DNJ) จากส่วนเปลือกรากหม่อนในปัจจุบันนำมาทำยาชื่อ homonojirimycin เพื่อใช้รักษาโรคเบาหวาน ผลการศึกษาในหลอดทดลอง พบว่าสารสกัดเปลือกหม่อนมีฤทธิ์ยับยั้งเอ็นไซม์ของเชื้อ เอชไอวี (HIV) ฤทธิ์ต้านเชื้อรา และต้านเชื้อไวรัสที่ก่อโรคเริ่มที่อวัยวะเพศ ส่วนการศึกษาในสัตว์ทดลองพบฤทธิ์แก้ไอ ขับปัสสาวะ ลดอาการบวม และระงับประสาท

2.11.3.4 ใบหม่อน มีสารจำพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogen) ไตรเทอร์ปีน (triperpene) อัลคาลอยด์ เซราไมด์ (ceramide) สาร mulberroside F (มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างเม็ดสีที่ผิวหนัง) และน้ำมันหอมระเหย นอกจากนี้ยังประกอบด้วย สารอาหารในปริมาณสูง เช่น โปรตีน (22.6 เปอร์เซ็นต์) คาร์โบไฮเดรต เพคติน เส้นใย รวมทั้งวิตามินบี ซี และเบต้าแคโรทีน จึงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารคนและสัตว์เลี้ยงได้ เช่น ทำยำใบหม่อนปลากระป๋อง หรือใช้เลี้ยงโค กระบือ เพื่อให้โคนมมีน้ำนมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังนำมาทำเป็นยาขับเหงื่อและยาอมแก้คอเจ็บ ในประเทศไทยเริ่มมีการจำหน่ายชาใบหม่อนเมื่อไม่นาน แต่สำหรับชาวญี่ปุ่นรู้จักชาใบหม่อนดีมาเป็นเวลาช้านานแล้ว เพราะเป็นหนึ่งในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ นักวิทยาศาสตร์ญี่ปุ่น (Shimizu et al., 1992) ได้ตรวจพบสารกาบา (GABA= gamma amino butyric acid) ในชาใบหม่อน ซึ่งมีคุณสมบัติในการปรับระดับความดันเลือดและลดอาการอักเสบในสมอง นอกจากนี้ยังมีสารที่เรียกว่า ดีเอ็นเจ (1-deoxynojirimycin) ซึ่งมีผลในการลดระดับน้ำตาลในเลือดของสัตว์ทดลอง เช่น หนูและกระต่าย ใบหม่อนแสดงคุณสมบัติ antioxidant คือ สามารถยับยั้งปฏิกิริยา peroxidation ของกรดลิโนเลนิก 78.2 เปอร์เซ็นต์ เทียบเท่ากับ butyrated hydroxyanisole (BHA) แต่มากกว่าสาร alpha-tocopherol ดังกล่าว 72.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ชาใบหม่อนยังมีแร่ธาตุและวิตามินที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกายโดยรวมสูงกว่าใบชาทั่วไป อาทิ แคลเซียม (2,461 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม) โปแตสเซียม (2,195 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) แมกนีเซียม

395 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และวิตามินบี 2 ชาใบหม่อนได้ผ่านการตรวจสอบคุณลักษณะที่ต้องการแล้ว จากสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ซึ่งเมื่อชงเป็นเครื่องดื่มจะให้รสฝาดน้อยกว่าใบชา ทั่วไป และชาใบหม่อนมีคาเฟอินน้อยกว่าใบชาถึง 200 เท่า คือ พบเพียง 0.01 เปอร์เซ็นต์ หรือบางครั้งไม่พบเลย (ช่อลัดดา, 2548)

2.11.4 กรดอะมิโนในใบหม่อน

จากรายงานของเกษมศักดิ์ (2536) พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนในใบหม่อนมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของใบหม่อน ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ปริมาณกรดอะมิโนของใบหม่อนพันธุ์ต่างๆ (g/100 gDM)

กรดอะมิโน	พันธุ์		
	บุรีรัมย์ 60	นครราชสีมา 60	น้อย
กรดแอสพาติค	1.50	1.96	2.42
เมทไธโอนีน	0.12	0.12	0.03
ทรีโอนีน	0.53	0.70	0.83
เซรีน	0.61	0.79	0.93
กรดกลูตามิค	1.59	2.07	2.41
โปรลีน	0.62	0.81	0.96
ไกลซีน	0.71	0.93	1.11
อลานีน	0.73	0.97	1.14
วาลีน	0.49	0.62	0.72
ไอโซลูซีน	0.34	0.45	0.51
ลูซีน	1.03	1.36	1.50
ไทโรซีน	0.32	0.48	0.50
เฟนิลอลานีน	0.52	0.68	0.80
ไลซีน	0.51	0.30	0.81
ฮีสติดีน	0.30	0.41	0.45
อาร์จีนีน	0.82	1.13	1.02

ที่มา: เกษมศักดิ์ (2536)

2.11.5 งานวิจัยการใช้ประโยชน์จากใบหม่อนในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคนมพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมเมื่อใช้ใบหม่อนในโคนมในระดับสูง เช่นเดียวกับงานทดลองที่มีการใช้ใบหม่อนเสริม 6 กิโลกรัมต่อวัน ให้แก่โคนม โดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของโคนมหรือผลผลิตน้ำนม อีกทั้งองค์ประกอบของน้ำนมดีขึ้นอีกด้วย (Makkar et al., 1989) สำหรับการใช้ประโยชน์จากใบหม่อนเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีการศึกษาเป็นอย่างมากในต่างประเทศแต่สำหรับภายในประเทศข้อมูลการวิจัยในสัตว์เคี้ยวเอื้องยังมีอยู่จำกัด แต่มีนักวิจัยหลายท่านชี้ให้เห็นว่าใบหม่อนสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ Benavides (2001) ได้รายงานว่าได้มีการใช้ใบหม่อนเป็นแหล่งของโปรตีนให้กับแพะ โดยมีการเสริมในระดับ 0, 0.5 , 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ร่วมกับแหล่งของอาหารหยาบที่มาจากเนเปียร์ ซึ่งพบว่าใบหม่อนมีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นอกจากนี้ใบหม่อนยังสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างดียิ่งในระบบการเลี้ยงโคนมซึ่งไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำนม เมื่อใช้ใบหม่อนเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนแหล่งโปรตีนอื่นในสูตรอาหารข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Makkar and Becker (1996) รายงานว่า ใบหม่อนมีองค์ประกอบของไนโตรเจน กำมะถัน และแร่ธาตุที่สูง ซึ่งใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องแล้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรอีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนและส่งผลดีต่อการใช้ประโยชน์ในลำไส้เล็กที่ได้จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์โปรตีนทำให้สัตว์ได้รับโภชนะโปรตีนที่เป็นประโยชน์แก่ตัวสัตว์เอง อีกทั้งมีการรายงานว่าเมื่อมีการใช้ใบหม่อนเป็นอาหารแพะทำให้มีการผลิตน้ำนมระหว่าง 15,000-20,000 ลิตรต่อผลผลิตของหม่อน 1 เฮกตาร์ อีกทั้งยังทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการกินได้ของแพะกับแกะ พบว่า แพะมีปริมาณการกินได้ของใบหม่อนสูงกว่าแกะ (3.55 กับ 2.74 DM/100 kgBW)ได้มีการวิจัยการใช้ใบหม่อนเสริมในระดับ 1.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ในหน่วยวัตถุแห้งของโคเพศผู้ที่ได้รับหญ้าเนเปียร์เป็นอาหารหยาบหลัก พบว่า น้ำหนักตัวของโคนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 900 กรัม/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมใบหม่อน (สกล, 2546)

ในอเมริกากลาง การทดลองทางด้านใบพืชที่ได้จากใบหม่อนที่มีการให้ปุ๋ยและนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับแพะและเป็นอาหารเสริมสำหรับแม่โคให้น้ำนมได้ผลเป็นที่น่าพอใจอันเนื่องจากการเจริญเติบโตและมีการให้ผลผลิตในระดับที่สูงและแม่โคสามารถให้น้ำนมได้สูงถึง 18 ลิตร/วัน จากการได้รับพืชอาหารสัตว์ที่มีการเสริมด้วยใบหม่อนสด อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวการณ์ดังกล่าว ใบหม่อนต้องได้รับการตัดและนำมาให้สัตว์กินรวมทั้งความต้องการปุ๋ยในอัตราที่สูง(200 กิโลกรัม/เฮกตาร์/ปี) แต่ก็สามารถให้ให้ในรูปของมูลสัตว์หรือวัสดุสดคลุมดิน (Rojas and Benavides, 1994)

เพื่อให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น อัตราการให้ผลผลิตที่ได้จากปริมาณการกินใบไม้ยืนต้นตัวอย่างเช่น การกินกระถินและใบหม่อนในปริมาณที่สูงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเทียบกับโคที่ได้รับฟางหมักแอมโมเนียเพื่อเป็นการเพิ่มการย่อยและทำการเสริมด้วยกากเมล็ดฝ้าย 1-1.5 กิโลกรัม/วันเช่นเดียวกันกับประเทศคอสตาริกาที่ใช้ใบหม่อนเสริมในอาหารแพะ ทำให้แพะมีปริมาณการกินอาหารในสัดส่วนที่สูงถึง 3.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของน้ำหนักตัวเมื่อมีชีวิต ก่อให้เกิดการเพิ่มระดับการให้ผลผลิตของน้ำนม (Rojas and Benavides, 1994)

Yao (2001) รายงานถึงผลของการใช้ใบหม่อนในการทดแทนกากเรปซีดที่มีผลต่อสมรรถนะของแกะที่ได้รับฟางหมักแอมโมเนียเป็นอาหารหยาบโดยการทดลองในครั้งนี้เป็นการวัดผลเพื่อดูสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกแกะที่ได้รับฟางหมักแอมโมเนียเป็นอาหารหยาบหลัก และประเมินคุณลักษณะการย่อยของฟางหมักแอมโมเนีย (ammoniated rice straw, AMRS) ในการเสริมใบหม่อนละกากเรปซีด ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยจากการศึกษาในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ A:ได้รับ 100 กรัมของ RSM (repseed meal) B:ได้รับ 75 กรัมของ RSM ร่วมกับ 60 กรัมใบหม่อน C: ได้รับ 50 กรัมของ RSM ร่วมกับ 120 กรัมใบหม่อน D:ได้รับ 25 กรัมของ RSM ร่วมกับ 180 กรัมใบหม่อน E:ได้รับ 240 กรัมของใบหม่อน โดยในทุกกลุ่มการทดลองจะได้รับฟางหมักแอมโมเนีย (AMRS) อย่างเต็มที่ร่วมกับข้าวโพดบด 100 กรัมต่อตัวต่อวัน พบว่าการกินได้ของ AMRS เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการเสริมใบหม่อน และการกินได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระดับใบหม่อน ส่วนการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตพบว่าในกลุ่ม A และE มีอัตราการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน และอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อมีการเสริมของ RSM ร่วมกับใบหม่อน ($P<0.05$) ในขณะที่ประสิทธิภาพการใช้อาหารจะดีที่สุดในกลุ่ม A แต่ พบว่าการกินได้ของอาหารข้นต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ในกลุ่ม D และ E มีค่าต่ำกว่า เมื่อคิดถึงต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น พบว่าในกลุ่ม A และE จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ แต่ในกลุ่ม E จะมีต้นทุนที่ต่ำที่สุดโดยคิดเมื่อมีการใช้ใบหม่อนทดแทน 100 เปอร์เซนต์ พบว่าต้นทุนต่ำกว่า 0.09 Yaun/day นอกจากนี้การที่ได้รับใบหม่อนสดสามารถที่จะเพิ่มปริมาณน้ำนมต่อวันได้ถึง 18.1 kg ซึ่งผลที่ได้จะให้ผลคล้ายกับการให้อาหารหยาบ AMRS ร่วมกับการเสริมกากเมล็ดฝ้าย 1-1.5 กก./วัน

นอกจากนี้ Yao (2001) ได้ศึกษาถึงอัตราการสูญหายของวัตถุแห้ง ในกระเพาะหมักของลูกแกะ พบว่า มีอัตราที่สูงในกลุ่มที่ได้รับใบหม่อนเมื่อเทียบกับกากเรปซีด (RSM) แต่พบว่าโปรตีนหยาบในกลุ่ม RSM มีมากกว่ากลุ่มใบหม่อน โดยที่ 48 ชั่วโมงของความสามารถในการย่อยสลายได้ภายกระเพาะรูเมนของวัตถุแห้ง และโปรตีนหยาบ คือ 54.5 และ 76.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ RSM และ

62.1 และ 54.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับใบหม่อนตามลำดับ เมื่อสังเกตผลของ อัตราการไหลผ่านของ digesta จากรูเมนที่ 4%/h พบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีนหยาบในใบหม่อน คือ 39.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่า RSM คือ 55.6 เปอร์เซ็นต์ โดยสรุปได้ว่าใบหม่อนมี โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนได้มากกว่า RSM ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นข้อดีต่อการกินได้ของ AMRS เมื่อสังเกตเห็นว่ากลุ่ม E มีการกินได้ของ AMRS ที่มากกว่ากลุ่ม A ดังนั้นใบหม่อนสามารถที่จะนำมาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากเรปซีดได้ทั้งหมด ถึงแม้ว่าผลที่ได้ในด้านการเจริญเติบโต หรือสมรรถนะต่างๆ จะแตกต่างกันไม่มาก แต่เมื่อดูจากผลกำไรที่ได้จากการใช้ใบหม่อนก็พบว่าสามารถสร้างกำไรได้มากขึ้น ดังนั้นใบหม่อนจึงสามารถเป็นแหล่งโปรตีนแหล่งใหม่ของอาหารสัตว์ที่น่าสนใจยิ่ง

2.12 การใช้กากน้ำตาลผสมยูเรียเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

กากน้ำตาล (molasses) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย โดยกากน้ำตาลจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย (readily fermentable carbohydrate) กากน้ำตาลมีหลายชนิดตามพืชที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลเช่น กากน้ำตาลจากอ้อย (sugarcane molasses) และกากน้ำตาลจากหัวบีท (sugarbeet molasses) เป็นต้น ซึ่งกากน้ำตาลจากอ้อยเป็นชนิดที่หาได้ง่ายที่สุด กากน้ำตาลมีคุณสมบัติเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นหอม จึงได้มีการนำกากน้ำตาลมาเป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยใช้เป็นแหล่งของพลังงานที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับแหล่งของพลังงานอื่น ช่วยลดความเป็นฝุ่น เพิ่มรสชาติให้กับอาหารและยังเป็นตัวเชื่อมส่วนผสมให้สามารถอัดเป็นก้อนได้ (จรัล, 2527) การใช้กากน้ำตาลเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ผสมอาหารแห้ง หรือทำอาหารข้น หรืออัดเม็ด ใช้เป็นส่วนเติมลงในการทำหญ้าหมักประมาณ 8% ของส่วนผสมทั้งหมด กากน้ำตาลจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาตินำกิน แต่กากน้ำตาลมีข้อจำกัดในการใช้คือ เป็นของเหลวทำให้ยากแก่การขนส่งไปในระยะทางไกล และมีปริมาณของไนโตรเจนต่ำ (เกียรติภูมิ, 2530) นอกจากนั้นแล้ว Preston and Leng (1987) พบว่าสัตว์ที่ได้รับกากน้ำตาลอย่างรวดเร็วจะเกิดผลเสียคือ เกิดเป็นพิษ (toxicity) และท้องอืด (boat) โดยเป็นผลจากการที่กลูโคสลดลงเพราะกากน้ำตาลจะทำให้กรดโพรพิออนิกลดลง(Preston and Leng, 1987) ซึ่งในโคนมพบว่า 60% ของกลูโคสจะผลิตจากกรดโพรพิออนิก ส่วนการท้องอืดอาจจะเกิดจากสัตว์ได้รับกากน้ำตาลแล้วเกิดการหมักอย่างรวดเร็วค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ทำให้ปริมาณไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในของเหลวในกระเพาะรูเมนเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การใช้กากน้ำตาลอย่างเดียวเป็นอาหารโคจะช่วยการกินได้ของอาหารหยาบใน

รูปวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น (Mawuenyegah et al., 1997) และช่วยเพิ่มผลผลิตจุลินทรีย์โปรตีนและเพิ่มพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับสัตว์ (Sommart et al., 1996) รวมไปถึงเพิ่มการย่อยได้ในถุงไนลอน (Hughes and Peralta, 1981) แต่ไม่เพิ่มการย่อยได้ในสัตว์ ถึงแม้ว่ากากน้ำตาลมีรสชาติหอมหวานแต่มีปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Ernst et al., 1975) (Burroughs et al., 1971, 1974 อ้างถึงโดยเมธา, 2533) ได้เสนอระบบการใช้ยูเรียร่วมกับอาหารชนิดต่างๆ โดยใช้ระบบ UFP ถ้า UFP มีค่าสูงแสดงว่าการใช้ยูเรียร่วมกับอาหารชนิดนั้นให้ผลดี ซึ่งกากน้ำตาลมีค่า UFP เท่ากับ 20 กรัมต่อกิโลกรัม จึงได้มีการนำเอากากน้ำตาลมาเป็นแหล่งของพลังงานและยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจน การใช้กากน้ำตาลร่วมกับยูเรียยังช่วยให้การแตกตัวของยูเรียเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Briggs, 1967) จากการรายงานพบว่าการใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนและพลังงานที่ย่อยสลายได้เร็วในกระเพาะรูเมน ซึ่งจากการรายงานของ Ernst et al. (1975) พบว่า เมื่อเสริมยูเรีย-กากน้ำตาลในโคจะเพิ่มการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุแห้งของหญ้าแห้ง เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการกินได้และการย่อยได้ของอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มโปรตีนในอาหาร เนื่องจากมีชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนจากโปรตีน ซึ่งมีผลทำให้การกินได้สูงขึ้น อันเนื่องมาจากมีการย่อยได้ที่ดีขึ้นในกระเพาะรูเมน จิระชัย และบุญล้อม (2529) รายงานว่า การใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลราดบนฟางข้าวเปรียบเทียบกับฟางหมักยูเรีย 4% ทำให้การย่อยได้ในห้องปฏิบัติการเพิ่มจาก 43.23% เป็น 55.07% เมื่อใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลราดบนฟางข้าว เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะได้รับแอมโมเนียจากการแตกตัวของยูเรียและได้รับพลังงานจากกากน้ำตาล นำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนทำให้แบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลสเพิ่มขึ้นทำให้การย่อยได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับฟางหมักยูเรีย 4% แต่พบว่าฟางหมักยูเรียจะมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุสูงกว่าฟางข้าวราดยูเรีย-กากน้ำตาล (54.16 กับ 51.94% และ 55.52 กับ 52.15 % ตามลำดับ) สอดคล้องกับรายงานของ Sahoo et al. (1992); Brown (1993); Kalmbacher et al. (1994); Singh et al. (1995) และทำให้การย่อยได้ของผนังเซลล์เพิ่มขึ้น (Tiwari et al., 1990) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกินได้พบว่าฟางข้าวราดยูเร็ย-กากน้ำตาลมีปริมาณการกินได้สูงกว่าฟางหมักยูเรีย 4% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยูเรีย-กากน้ำตาลมีกลิ่นหอมและรสหวาน แต่ฟางหมักยูเรียมีกลิ่นแอมโมเนียซึ่งฉุน สัตว์ไม่ชอบกลิ่นจึงทำให้การกินได้ของสัตว์ลดลง แต่ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวได้ (วรพงษ์ และคณะ, 2516) นอกจากนี้รายงานของ Hatch and Beesen (1972) พบว่าการเสริมยูเรีย-กากน้ำตาลจะเพิ่มกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมดและแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนซึ่งแสดงให้

เห็นว่าสภาพนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมนมีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนให้ดีขึ้นและยังช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร รวมไปถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้น (Pate et al., 1990; Rafig et al., 1995; Hossain et al., 1995) รวมถึงเพิ่มผลผลิตน้ำนมด้วย (เมธา และคณะ, 2535; เกรียงศักดิ์, 2539; Kunju, 1986; Garg, 1991; Wanapat et al., 1996) แต่เนื่องจากการใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลในรูปของเหลวจะประสบปัญหาในด้านการขนส่งเป็นระยะทางไกลและมักเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเป็นพิษของยูเรียและของกากน้ำตาลเองถ้าสัตว์ได้รับในปริมาณมากและรวดเร็ว จึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบการใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลขึ้นมาในรูปแบบใหม่ โดยนำมาผสมกับวัตถุดิบอาหารอื่นที่มีในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มโภชนะให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โดยการอัดปั้นเม็ดหรือก้อนเพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านต่างๆ เช่น การขนส่ง ลดอันตรายที่เกิดจากการได้รับยูเรีย-กากน้ำตาลในปริมาณที่มากและรวดเร็ว เป็นต้น ซึ่งอาหารที่ผลิตได้มีชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น อาหารก้อนคุณภาพสูง (high- quality feed pellets/blocks, HQFP/HQFB) (เมธา และคณะ, 2535; Wanapat et al., 1996), urea molasses mineral block (UMMB) (Garg and Gupta, 1992), urea molasses block lick (UMBL) (Badurdeen et al., 1994; Singh et al., 1995)

2.13 อาหารก้อนคุณภาพสูง

อาหารก้อนคุณภาพสูงเป็นแนวทางหนึ่งในการเสริมโภชนะให้แก่สัตว์เคี้ยวเอื้องในช่วงหน้าแล้ง โดยใช้เสริมร่วมกับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ส่วนประกอบของอาหารก้อนคุณภาพสูงประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารต่างๆเพื่อเป็นแหล่งโภชนะที่เหมาะสมแก่สัตว์ ซึ่งแหล่งโภชนะที่สำคัญในอาหารก้อนคุณภาพสูงได้แก่

1. แหล่งของพลังงานที่สามารถย่อยสลายได้เร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมน แหล่งของพลังงานที่สามารถในการย่อยสลายได้เร็วและเป็นแหล่งของจุลธาตุ รวมถึงมีราคาถูก ที่นิยมใช้คือ กากน้ำตาล (Wiedmeier et al., 1992)

2. แหล่งของไนโตรเจนที่สามารถย่อยสลายได้เร็ว โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนความสามาร์ถในการใช้ไนโตรเจนที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ซึ่งจะถูกย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ที่ทางเดินอาหารส่วนถัดไป แหล่งไนโตรเจนที่มีคุณสมบัตินี้คือ ยูเรีย (Briggs, 1967)

3. แหล่งของโปรตีนที่มีความสามารถในการสลายในกระเพาะรูเมนต่ำ เป็นโปรตีนที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง เป็นโปรตีนทีไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน เมื่อผ่านลงไปสู่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

กระเพาะจริงก็จะมีการย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์โดยตรง ในสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต สัตว์ที่กำลังให้ผลผลิตหรือสัตว์ที่อุ้มท้องจะมีความต้องการโภชนะสูง การได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์โปรตีนอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องได้รับอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนอีกด้วย แหล่งของโปรตีนชนิดนี้คือกากฝ้าย หรือมันเฮย์เป็นต้น (Wanapat et al., 1996; Wanapat, 2001)

4. แหล่งของไวตามินและแร่ธาตุที่สำคัญ ไวตามินบางตัวสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน แต่ไวตามินบางตัวโดยเฉพาะไวตามินที่ละลายในไขมัน เช่น ไวตามินเอ ดี และอี สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ จำเป็นต้องได้รับการเสริมเพื่อให้สัตว์ได้รับอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต และสัตว์ที่กำลังให้ผลผลิต ส่วนแร่ธาตุก็มีความสำคัญต่อระบบเมแทบอลิซึมของร่างกาย ซึ่งแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมงกานีส คลอไรด์ โคบอลล์ และซัลเฟอร์ เป็นต้น ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ต้องมีในอาหารในสัดส่วนที่เหมาะสม เช่น สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 1 ต่อ 2 นอกจากนั้นแล้ว อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนต่อซัลเฟอร์ก็มีความสำคัญ เพราะจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะนำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซีสตีน และเมทไธโอนีน ซึ่งอัตราส่วนควรอยู่ในช่วง 12 ต่อ 1 ถึง 15 ต่อ 1 (NRC, 2001)

5. ตัวประสานยึด นอกจากจะมีกากน้ำตาลช่วยในการจับตัวแล้ว เพื่อให้ความแข็งในอาหารก้อนดียิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้ซีเมนต์เพิ่มเข้ามาด้วย เพื่อเพิ่มความแข็งและป้องกันการกัดแทะของสัตว์ (เมธา และคณะ, 2535)

การเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยในแง่ของปริมาณการกินได้และการย่อยได้ เมธาและคณะ (2535) ได้ทำการศึกษาการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ประกอบด้วย กระบือ โคเนื้อ และโคนม ให้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ และเสริมด้วยอาหารก้อนคุณภาพสูงในปริมาณ 500 กรัม/ตัว/วัน พบว่าปริมาณการกินได้ของฟางข้าวเพิ่มขึ้น 22% ในกระบือ 20% ในโคเนื้อ และ 15% ในโคนม Preston and Leng (1987) พบว่าการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงจะมีผลเชิงบวกกับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ ความสามารถในการย่อยได้และสภาพร่างกาย รวมทั้งยังเพิ่มผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักด้วย ในแง่ของผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน Garg and Gupta (1992) รายงานว่าการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูง ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและอัตราการเจริญเติบโตในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ เกรียงศักดิ์ (2539) ซึ่งพบว่าการเสริมอาหารเม็ดคุณภาพสูงในระดับ 500 กรัม/ตัว/วัน มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน นอกจากนั้น Koakhunthod and Wanapat (2000) รายงานว่าการเสริม

อาหารก้อนคุณภาพสูงในโคเนื้อมีผลเพิ่มจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน และการศึกษาในโคนม พบว่าการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงมีผลเพิ่มปริมาณน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และเพิ่มผลตอบแทนรายรับจากน้ำนมเมื่อหักค่าใช้จ่าย สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม (Wanapat et al., 1999)

2.14 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว

ฟางข้าวนับเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ใช้มากในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันมีการใช้ฟางข้าวเพื่อเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องอย่างกว้างขวาง แต่ฟางข้าวมีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างต่ำ คือมีโปรตีนหยาบประมาณ 3-4 % มีคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างในปริมาณที่สูง มีปริมาณของฟอสฟอรัสและแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ต่ำมาก (Wanapat et al., 1983) นอกจากนี้ฟางข้าวยังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดค่อนข้างต่ำคือประมาณ 45.6% (Wanapat et al., 1985) และเนื่องจากฟางข้าวมีความฟ่ามสูงจึงทำให้สัตว์กินฟางได้น้อย ส่งผลให้ได้รับโภชนะไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (เมธา, 2528) ส่วนประกอบของฟางข้าวจะแตกต่างจากฟางของธัญพืชชนิดอื่น โดยฟางข้าวประกอบด้วยผนังเซลล์ 79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเซลยูโลส 33 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการจับตัวของกลูโคสเป็นเซลยูโลสในผนังเซลล์นั้นเป็นแบบ crystalline ซึ่ง degree of crytallinity มีส่วนสัมพันธ์ทางตรงกันข้ามกับการย่อยได้ของเซลยูโลส นอกจากนั้นลิกนินและซิลิกายังเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้การย่อยได้ของฟางลดลง (Devendra, 1982 อ้างถึงโดยเมธา, 2533) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนะสูงขึ้น ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากฟางข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี การหมักฟางข้าวด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถเพิ่มคุณภาพของฟางข้าวได้ โดยพบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนหยาบจาก 2 เปอร์เซ็นต์ เป็น 8 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มการย่อยได้จาก 46 เปอร์เซ็นต์ เป็น 50-55 เปอร์เซ็นต์ และสัตว์ยังสามารถกินฟางได้เพิ่มอีก 30-40 เปอร์เซ็นต์ เป็นการเพิ่มพลังงานสุทธิสำหรับสัตว์ที่จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใยสูงขึ้น (Wanapat, 1983, 1999; Wanapat et al., 1985, Wanapat and Wachirapakorn, 1990; Hart and Wanapat, 1992) และที่สำคัญที่สุดคือความเป็นกรด-ด่างของโคที่ได้รับฟางข้าวหรือฟางข้าวหมักยูเรียคือ 6.4-7.0 และยังสามารถเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) (Ngarmsang, et al., 2000) ซึ่งผลดังกล่าวเป็นผลดีต่อจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียในกลุ่ม cellulolytic bacteria จากการรายงานของกรมปศุสัตว์

(2550) พบว่าฟางข้าวมีเยื่อใยหยาบอยู่ที่ 38.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟางหมักยูเรียสดมี 21.1 เปอร์เซ็นต์ และฟางหมักยูเรียแห้งมี 33.3 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.11)

Djajanegara et al. (1983) ได้ทำการหมักฟางข้าวด้วยยูเรีย 1, 2, 4, 8 และ 16 เปอร์เซ็นต์ นาน 1, 2, 4, 8 และ 16 สัปดาห์ตามลำดับ พบว่าหลังจากเปิดกองฟางหมักและปล่อยให้แอมโมเนียระเหย ได้ฟางหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนและ ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นตามระดับยูเรียที่สูงขึ้น อีกทั้งวัตถุแห้งก็เพิ่มขึ้นตามระดับยูเรียที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการคงอยู่ของไนโตรเจนจากยูเรียในรูปใดรูปหนึ่งที่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงขึ้นยังแสดงให้เห็นถึงการแตกตัวของยูเรีย โดยหลังจากการหมัก 1 สัปดาห์ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงถึง 9 ในทุกๆทรีทเมนต์ และหากยังคงเก็บให้อยู่ในสภาพปิดสนิทค่าความเป็นกรด-ด่างจะคงอยู่ในระดับนี้ต่อไปจนถึงที่ระยะหมัก 4 เดือน Wanapat et al. (1983) ได้ทำการหมักฟางข้าวด้าวยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ต่อฟางข้าวในอัตรา 1:1 โดยน้ำหนัก นาน 3 สัปดาห์ พบว่า โปรตีนหยาบ (CP) เพิ่มขึ้น 3.5 เปอร์เซนต์ ADL ลดลงเมื่อเทียบกับฟางธรรมดา ค่า CP ที่เพิ่มขึ้นนี้ใกล้เคียงกับ Saadullah and Haque (1983) ที่ใช้ยูเรีย 5 เปอร์เซนต์ พบว่าเพิ่มขึ้นจากฟางธรรมดา 3.9 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.11 โภชนะของฟางข้าว ฟางหมักยูเรียแบบสดและแห้ง

โภชนะ	ฟางข้าว	ฟางหมักยูเรีย	
		สด	แห้ง
วัตถุแห้ง, %	90.0	57.0	90.0
	.....% วัตถุแห้ง.....		
โปรตีนหยาบ	2.8	5.0	7.9
เยื่อใยหยาบ	38.1	21.1	33.3
ไขมัน	2.0	3.1	4.9

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2550)

นอกจากนี้ Wanapat (1990) ยังได้รายงานว่าการหมักฟางข้าวด้วยยูเรียจะทำให้โปรตีนรวมเพิ่มขึ้นตามระดับยูเรียที่สูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อองค์ประกอบของแร่ธาตุ (ตารางที่ 2.12) การใช้ระยะเวลาหมักนานขึ้นทำให้ค่า ADF เพิ่มขึ้นแต่ CP ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการระเหยไปของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย

$$NH_2CONH_2 + H_2O \xrightarrow{urease} 2NH_3 + CO_2$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$$

$$NH_4OH \longrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการหมักฟางข้าวด้วยยูเรีย

ที่มา : Wanapat (1983)

ตารางที่ 2.12 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว ฟางหมักยูเรีย และฟางหมักยูเรีย-ลาม

Treatments	DM	OM	CP	Ash	NDF	ADF	ADL	pH	อ้างอิง
RS	46.2	82.8	4.2	17.2	-	-	-	5.7	Wanapat (1990)
	-	81.7	4.1	18.3	75.9	56.7	5.1	-	Cheva-Lsarakul and Potikanond (1986)
	90.5	80.9	4.3	19.1	78.6	59.5	3.3	-	บุญเสริม และบุญล้อม (2529)
1%UTS	43.6	-	7.2	18.0	-	-	-	7.1	Wanapat (1990)
3%UTS	44.1	-	11.9	17.2	-	-	-	8.7	Wanapat (1990)
	38.5	-	9.6	16.6	76.0	-	5.1	-	Wanapat (1985)
4%UTS	50.3	80.0	9.2	20.0	73.5	61.8	5.4	-	บุญล้อม (2531)
	56.0	80.9	8.1	19.1	79.9	59.1	4.1	-	Cheva-Lsarakul and Potikanond (1986)
5%UTS	44.8	82.7	17.7	17.3	-	62.3	4.0	9.0	Wanapat (1990)
	90.5	80.3	5.3	-	80.5	-	4.9	-	บุญเสริม และบุญล้อม (2529)
	55.1	-	7.8	-	72.0	53.5	-	-	Wanapat et al. (2009)
6%UTS	95.4	82.0	7.5	-	76.4	60.8	5.7	-	Cheva-Lsarakul and Potikanond (1986)
ULRS	50.2	-	5.8	-	74.6	55.1	-	-	Wanapat et al. (2009)

RS= ฟางข้าว, UTS= ฟางหมักยูเรีย, ULRS= ฟางหมักยูเรีย 2.2% + แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.2%

ปฏิกิริยาในการหมักฟางข้าวด้วยยูเรีย เริ่มจากยูเรียเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยเอนไซม์ยูรีเอส (urease) จากจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตามพื้นผิวฟางซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลายยูเรีย (ureolytic bacteria) (ภาพที่ 2.8) จากนั้นแอมโมเนียจะรวมตัวกับหมู่

ไฮดรอกซิล (OH-group) ได้เป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและทำให้การยึดเกาะของพันธะคลายตัวลง

Wanapat (1985) ศึกษาการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณการกินได้ต่อหน่วยกิโลกรัมต่อวัน และต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การกินได้เมื่อคิดเป็นกรัมต่อน้ำหนักเมแทบอลิก ในกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และผนังเซลล์ในกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามฟางข้าวจัดเป็นอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ซึ่งอาจส่งผลให้มีการผลิตก๊าซเมธเทนมากกว่าอาหารหยาบที่มีคุณภาพสูง

2.15 การประเมินจุลินทรีย์โปรตีนโดยใช้อนุพันธ์พิวรีน

การประเมินจุลินทรีย์โปรตีนจากสารอนุพันธ์พิวรีนในปัสสาวะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถือว่าเป็นวิธีการวัดปริมาณจุลินทรีย์ทางอ้อม (Indirect measurement) ซึ่งกำลังมีการเผยแพร่ให้มีการนำมาใช้ โดยวิธีนี้ไม่ต้องทำการผ่าตัดสัตว์หรือทำการสุ่มเอาของเหลวจากส่วนกระเพาะรูเมนหรือลำไส้เล็ก เพียงแค่นำปัสสาวะมาวิเคราะห์และทำการประเมินหาสารพิวรีนที่ถูกดูดซึมก็เพียงพอ โดยมีการศึกษาพบว่าปริมาณสารอนุพันธ์พิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะมีความสัมพันธ์กับสารพิวรีนที่ดูดซึมในลำไส้เล็ก ซึ่งในการศึกษาแต่ก่อนจะใช้วิธีการวิเคราะห์จากปริมาณปัสสาวะที่ขับออกมาทั้งวัน โดยการเก็บปัสสาวะทั้งหมด(total collection) ซึ่งเป็นวิธีการที่ยุ่งยากต่อการนำมาใช้กับสัตว์ที่มีการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่ง อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาทั้งในแกะและโคนั้นพบว่าอัตราส่วนของสารอนุพันธ์พิวรีนต่อสารครีเอตินิน (creatinine) ต่อน้ำหนักตัว ซึ่งเรียกว่า PDC index มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอนุพันธ์พิวรีนที่ขับออกมาในแต่ละวัน (Chen et al., 1995) ดังนั้นการใช้ PDC index จากส่วนของปัสสาวะที่สุ่มมา (spot sampling) ก็สามารถนำมาใช้ประเมินถึงปริมาณของจุลินทรีย์โปรตีนได้เช่นกัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้มีการนำมาใช้เพื่อประเมินจุลินทรีย์โปรตีนในโคนมและโคเนื้อที่มีการเลี้ยงในประเทศไทยทั้งแบบที่เลี้ยงปล่อยทุ่งและเลี้ยงในฟาร์ม เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพการเลี้ยงสัตว์และการเจริญของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์ในสภาพการให้อาหารที่แตกต่างกันตามฤดูกาล

2.15.1 สารอนุพันธ์พิวรีน (Purine derivatives)

สารอนุพันธ์พิวรีนประกอบด้วย 4 ตัวคือ ไฮโปแซนทีน (hypoxanthine) แซนทีน (xanthine) กรดยูริก (uric acid) และ อะแลนโตอิน (allantoin) โดย ไฮโปแซนทีน มีสูตรเคมีคือ $C_6H_4N_4O$ มีน้ำหนักโมเลกุล 136.1 กรัม ไฮโปแซนทีนถือเป็นเบสพิวรีนตัวหนึ่งตามการจัดกลุ่มของ ซึ่งไฮโป-แซนทีนจะเป็นพิวรีนเบสของไอโนซีนโมโนฟอสเฟต (IMP) โดยการย่อย IMP จะได้ไฮโปแซนทีนนั่นเอง (Stryer, 1995) ซึ่ง IMP เป็นสารตั้งต้นของ อะดีโนซีนโมโนฟอสเฟต (AMP) และกวาโนซีนโมโนฟอสเฟต (GMP) ในปัสสาวะของโคและกระบือจะมีไฮโปแซนทีนที่ต่ำมาก คือน้อยกว่า 0.3 เปอร์เซนต์ของอนุพันธ์ทั้งหมด แซนทีน มีสูตรเคมี $C_5H_4N_4O_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 152.1 กรัม เป็นผลผลิตจากการย่อย เบสกวานีน และไฮโปแซนทีน กวานีนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์กวานีนดีอะ-มิเนสหรือ กวาเนสและได้แซนทีน ส่วนไฮโปแซนทีนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์แซนทีนออกซิเดส (Fox, 1978) ในกระแสเลือดและปัสสาวะของโคและกระบือจะมีแซนทีนต่ำมากคือมีน้อยกว่า 0.3 % ของอนุพันธ์พิวรีนทั้งหมด กรดยูริก มีสูตรเคมีคือ $C_5H_4N_4O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 168.1 กรัม เป็นผลผลิตจากการย่อยแซนทีนโดยเอนไซม์แซนทีนออกซิเดส ในกระแสเลือดของแกะจะมีความเข้มข้นของกรดยูริกแปรปรวนระหว่าง 6-8 ไมโครโมล/ลิตร (Chen et al., 1990) ส่วนในโคจะมีความเข้มข้น 19-34 ไมโครโมล/ลิตร (Giesecke et al., 1994) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะพบกรดยูริกประมาณ 15-20 % ของอนุพันธ์พิวรีนทั้งหมดรองจากอะแลนโตอิน และอนุพันธ์ตัวสุดท้ายในกระบวนการย่อยพิวรีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องคือ อะแลนโตอิน มีสูตรเคมีคือ $C_4H_6N_4O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 158.1 กรัม ได้จากการย่อยกรดยูริกด้วยเอนไซม์ยูริเดส (uricase) จากตับ ระดับอะแลนโตอินที่พบในปัสสาวะแกะจะสูงกว่าแพะ และกระบือตามลำดับ อะแลนโตอินนับเป็นอนุพันธ์พิวรีนที่มีปริมาณมากที่สุดในปัสสาวะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือมีประมาณ 80-90 % ของอนุพันธ์ทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์และแหล่งของพิวรีนที่ถูกย่อยเช่น จากจุลินทรีย์โปรตีน (exogenous source) จะมีสูงกว่าจากเซลล์ของสัตว์เอง (endogenous source) ในเลือดของแกะจะมีความแปรปรวนของความเข้มข้นประมาณ 52-130 ไมโครโมล/ลิตร (Chen et al., 1989; Balcells et al., 1992) ซึ่งในโคจะมีความเข้มข้น 140-392 ไมโครโมล/ลิตร (โอภาส และทองสุข, 2547)

อัตราส่วนของกรดนิวคลีอิก RNA ต่อ DNA ในน้ำรูเมน จะไม่แตกต่างจากในแบคทีเรียในรูเมน และอัตราส่วนนี้จะไม่มีความแปรปรวนกับชนิดหรือปริมาณของอาหารที่สัตว์ได้รับด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรดนิวคลีอิกที่พบในรูเมนได้มาจากจุลินทรีย์เท่านั้น (Smith and McAllan, 1970) นอกจากนี้ กรดนิวคลีอิกจากอาหารจะถูกย่อยในรูเมนจนหมด ดังนั้นกรดนิวคลีอิกที่ไหลลงไปยังลำไส้เล็กจึงได้มาจากจุลินทรีย์เท่านั้น กรดนิวคลีอิกที่ส่งมาจากรูเมนจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็กโดย

RNA และ DNA จะถูกย่อย 89 % และ 80 % ตามลำดับ (McAllan, 1980) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดนิวคลีอิกโดยเฉพาะส่วนเบสพิวรีนที่ถูกส่งมาที่ลำไส้เล็กกับปริมาณอะแลนโตอินที่ถูกขับออกในปัสสาวะจะมีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้มีการศึกษาโดยการฉีดเบสพิวรีน หรือฉีดยีสต์ RNA เข้าไปในส่วนดูโอดินัม ซึ่งจากการศึกษาในโคสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$Y= 0.85X+0.385W^{0.75}$ (Verbic et al., 1990)

$Y= 0.85X+0.30W^{0.75}$ (Pimpa et al., 2001)

โดย Y คือปริมาณสารอนุพันธ์พิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ (mmol/วัน)

X คือปริมาณพิวรีนเบสที่ดูดซึมจากลำไส้เล็ก (mmol/วัน)

2.15.2 สารอนุพันธ์พิวรีนในปัสสาวะ (Purine derivatives in urine)

อัตราส่วนของสารอนุพันธ์พิวรีนในกระแสเลือดที่ขับออกมากับปัสสาวะของแกะ โค และกระบือ จะเป็นค่าที่ใช้ในการประเมินปริมาณพิวรีนที่สัตว์ได้รับจากการดูดซึมเอาจุลินทรีย์โปรตีนที่ลำไส้เล็ก ซึ่งไม่ใช่ว่าสารอนุพันธ์พิวรีนในกระแสเลือดทั้งหมดจะถูกขับออกมากับปัสสาวะ โดยจะมีบางส่วนขับออกมาตามระยะเวลา และจะเรียกส่วนที่ขับออกมาว่า อนุพันธ์ที่ผ่านการกรองของหน่วยไต (renal routes) และส่วนที่ไม่ถูกขับออกมาว่า non-renal routes ซึ่งส่วนที่ไม่ถูกขับออกมานั้นอาจมีการดึงกลับไปใช้ประโยชน์โดยวิถี *de novo* หรืออยู่ในของเหลวอื่นๆในร่างกาย เช่น ในน้ำลาย และน้ำนม เป็นต้น ปริมาณสารอนุพันธ์ที่ขับออกมากับปัสสาวะจะมีความสัมพันธ์กันสูงกับปริมาณกรดนิวคลีอิกในรูเมนของแกะและโค นอกจากนี้ปริมาณสารอนุพันธ์ที่ขับออกมากับปัสสาวะยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่ย่อยได้ทั้งหมด (digestible organic matter intake, DMOI) ดังนั้น ปริมาณสารอนุพันธ์พิวรีนที่ขับออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยการได้รับอาหารและความเหมาะสมของสภาพนิเวศวิทยาภายในรูเมน โดยการให้อาหารพลังงานสูงจะมีผลทำให้ปริมาณการขับสารอนุพันธ์พิวรีนในแกะเพิ่มขึ้น (Nakamura and Fujihara, 1994) ทั้งนี้ชนิดของอาหารหยาบ และจำนวนครั้งในการให้อาหารจะไม่มีผลกับความเข้มข้นของสารอนุพันธ์พิวรีนในปัสสาวะ (โอภาสและทองสุข, 2547) ส่วนผลของปริมาณอาหารที่กินได้ โดยคิด DOMI ต่อน้ำหนักตัว ($kg^{0.75}$) พบว่ามีผลต่อการขับสารอนุพันธ์พิวรีนทั้งในแกะ แพะ โค และกระบือ (Pimpa et al., 2003)

สารอนุพันธ์พิวรีนที่หลั่งในน้ำปัสสาวะมาจากสองแหล่งคือ สารอนุพันธ์พิวรีนจากภายนอก (exogenous PD) และสารอนุพันธ์พิวรีนพื้นฐาน (endogenous PD) สารอนุพันพิวรีนจากภายนอกส่วนมากจะมาจากการแตกตัวของพิวรีนเบสของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนกับพิวรีนจากอาหารที่กินเข้าไป ขณะที่สารอนุพันธ์พิวรีนพื้นฐานจะมาจากการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อของสัตว์ หลังการแตก

ตัวของกรดนิวคลีอิกสารอนุพันธ์พิวรีนก็จะเข้าสู่กระแสเลือด เมื่อต้องการวัดปริมาณพิวรีนที่ถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กจึงจำเป็นที่จะต้องหักลบส่วนของสารอนุพันธ์พิวรีนพื้นฐานออก การวัดสารอนุพันธ์พิวรีนพื้นฐานนั้นสามารถวัดได้หลายวิธีเช่น การให้อาหารที่ไม่มีไนโตรเจน การคำนวณจากกราฟ การอดอาหาร การใช้สารกัมมันตรังสี และการเอาอาหารออกจากกระเพาะรูเมนให้หมด

ตารางที่ 2.13 สารอนุพันธ์พิวรีนที่หลั่งในปัสสาวะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ชนิดสัตว์	PD excretion		อ้างอิง
	mmol/d	(μmol/$W^{0.75}$)	
กระบือ		201	Sammaraweera (1995)
		200	Pimpa (2002)
โคเนื้อ		530	Chen et al.(1990)
		300	Pimpa (2002)
โคนม	75.5		Liu et al.(2008)
	107		Peterson (2006)
	379.3		Reynal et al. (2005)
แกะ		165	Chen et al.(1990)
		202	Balcells et al.(1991)
แพะ		202	Jetana et al.(2003 a,b)

2.15.3 การใช้อนุพันธ์พินรีนในการประเมินจุลินทรีย์โปรตีน

อนุพันธ์ของพิวรีนสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การผลิตจุลินทรีย์โปรตีนของกระบือได้ โดยพบว่าอะแลนโตอินมีสัดส่วนมากที่สุดคิดเป็น 80-90 เปอร์เซ็นต์ของพิวรีนทั้งหมด สามารถใช้เป็นตัวแทนในการประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนได้ (Perez et al., 1996) อย่างไรก็ตามปริมาณการขับอนุพันธ์พิวรีนออกมากับปัสสาวะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ (ตารางที่ 2.13) นอกจากนี้ Kittiworawech et al. (1995) รายงานว่าความแตกต่างในชนิดของอาหารโปรตีน คือ ใบกระถิน และใบมันสำปะหลัง และความแตกต่างในระดับของโปรตีน มีผลต่อการขับอนุพันธ์พิวรีน โดยอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงจะให้ค่าที่สูงกว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำ Samaraweera et al. (1995) รายงานว่า กระบือที่ได้รับฟางข้าวเสริมด้วยยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ จะมีการขับออกของอะแลนโตอินและอนุพันธ์ของพิวรีนทั้งหมด เท่ากับ 18.1 และ 20.1 โมลต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว Parker (1995) กล่าวว่า ค่าอะแลนโตอินที่ขับออกมทางปัสสาวะของกระบือ (17.1 มิลลิโมลต่อวัน) จะมีค่าต่ำกว่าในโค

(21.1 มิลลิโมลต่อวัน) ส่งผลให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระบือ (15.8 กรัมไนโตรเจนต่อวัน) ต่ำกว่าในโค (19.5 กรัมไนโตรเจนต่อวัน) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์ได้รับเป็นหลัก สอดคล้องกับ Pimpa et al. (1996) รายงานว่าปริมาณการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและอนุพันธ์พิวรีนมีค่าเพิ่มขึ้นได้ขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในอาหาร และค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน